

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria de l'Energia

**ESTUDI DE LES EMISSIONS DE CO₂ ASSOCIADES AL VECTOR
ENERGÈTIC DE BOLÍVIA, COSTA RICA, PARAGUAI,
GUATEMALA I URUGUAI. ANÀLISI D'ESCENARIS DE FUTUR.**



Memòria i Annexos

| | |
|----------------------|--------------------------|
| Autor: | Pablo Roser Berthet |
| Directora: | Bàrbara Sureda Carbonell |
| Co-Directora: | Olga Alcaraz Sendra |
| Convocatòria: | Juny 2019 |

Resum

Aquest Treball de Fi de Grau té com a objecte l'anàlisi de l'històric del vector energètic i les seves emissions de CO₂ associades de Bolívia, Costa Rica, Uruguai, Paraguai i Guatemala. A partir d'aquesta anàlisi, es projectaran escenaris tendencials de futur a partir dels quals s'elaboraran propostes emmarcades dins unes polítiques de mitigació d'aquestes emissions. Aquestes polítiques estaran consensuades a partir del context de país.

La primera part del treball consta de l'anàlisi històrica (des del 1990 fins al 2015) del vector energètic i les seves components així com les emissions de diòxid de carboni associades a les fonts d'energia primàries que utilitzen combustibles fòssils. A partir d'això, es realitza un escenari de futur *Business as Usual* fins a l'any 2030 per cada país, analitzant l'evolució tendencial tant del vector energètic com de les emissions de CO₂ associades a aquest.

Finalment, tenint en compte el context i les polítiques de canvi climàtic que descriuen les *Nationally Determined Contributions* (NDCs) de cada país, es formula escenaris de futur alternatius pel vector energètic amb l'objectiu de mitigar i reduir les emissions de diòxid de carboni. S'analitza críticament els resultats obtinguts i es compara amb les projeccions proposades pel grup de treball GGCC-UPC (*Grupo sobre Gobernanza del Cambio Climático de la Universitat Politècnica de Catalunya*) relacionades amb la trajectòria dels 2°C i la NDC del mateix país.

Resumen

Este Trabajo de Fin de Grado tiene por objeto el análisis del histórico del vector energético y sus emisiones de CO₂ asociadas a este de Bolivia, Costa Rica, Uruguay, Paraguay y Guatemala. A partir de este análisis, se proyectarán escenarios tendenciales de futuro a partir de los cuales se elaborarán propuestas enmarcadas dentro unas políticas de mitigación de estas emisiones. Estas políticas estarán consensuadas a partir del contexto de país.

La primera parte del trabajo consta del análisis histórico (desde 1990 hasta 2015) del vector energético y sus componentes así como las emisiones de dióxido de carbono asociadas a las fuentes de energía primarias que utilizan combustibles fósiles. A partir de ello, se realiza un escenario de futuro *Business as Usual* hasta el año 2030 para cada país, analizando la evolución tendencial tanto del vector energético como de las emisiones de CO₂ asociadas al mismo.

Finalmente, teniendo en cuenta el contexto y las políticas de cambio climático que describen las *Nationally Determined Contributions* (NDCs) de cada país, se formula escenarios de futuro alternativos por el vector energético con el objetivo de mitigar y reducir las emisiones de dióxido de carbono. Se analiza críticamente los resultados obtenidos y se compara con las proyecciones propuestas por el grupo de trabajo GGCC-UPC (Grupo sobre Gobernanza del Cambio Climático de la Universidad Politécnica de Cataluña) relacionadas con la trayectoria de los 2°C y la NDC del mismo país.

Abstract

This Final Project aims to analyze the historical energy vector and its CO2 emissions associated with that of Bolivia, Costa Rica, Uruguay, Paraguay and Guatemala. Based on this analysis, future trends will be projected from which proposals will be developed within policies to mitigate these emissions. These policies will be agreed upon from the country context.

The first part of the work consists of the historical analysis (from 1990 to 2015) of the energy vector and its components as well as the carbon dioxide emissions associated with the primary energy sources that use fossil fuels. From this, a scenario of future Business as Usual is carried out until 2030 for each country, analyzing the trend evolution of both the energy vector and the CO2 emissions associated with it.

Finally, taking into account the context and policies on climate change that describe the Nationally Determined Contributions (NDCs) in each country, alternative scenarios for the energy vector are formulated with the objective of mitigating and reducing carbon dioxide emissions. The results obtained are compared critically and compares with the projections proposed by the GGCC-UPC working group (Climate Control Governance Group of the Polytechnic University of Catalonia) related to the trajectory of 2°C and the NDC of the same country.



Agraïments

Es vol agrair de manera especial a la directora del treball, la Bàrbara Sureda, i la codirectora, l'Olga Alcaraz, per la seva constant supervisió en el desenvolupament del projecte. El seguiment d'aquest treball mitjançant reunions periòdiques i la seva predisposició a resoldre dubtes sorgits durant el termini d'elaboració, ha permès a l'autor d'aquest projecte realitzar-ho correctament.





Índex

| | |
|---|------------|
| RESUM | I |
| RESUMEN | II |
| ABSTRACT | III |
| AGRAÏMENTS | V |
| 1. OBJECTIUS I ABAST DEL PROJECTE | 1 |
| 1.1. Objectius | 1 |
| 1.2. Abast i motivació..... | 1 |
| 2. INTRODUCCIÓ | 3 |
| 2.1. El canvi climàtic i les seves causes | 3 |
| 2.1.1. Sobreescalfament global | 4 |
| 2.2. Emissions de CO ₂ | 5 |
| 2.3. Política sobre canvi climàtic..... | 7 |
| 2.3.1. UNFCC..... | 7 |
| 2.3.2. Protocol de Kyoto | 8 |
| 2.3.3. Acord de París fins a l'actualitat | 9 |
| 2.3.4. IPCC..... | 10 |
| 2.4. Vector Energètic..... | 12 |
| 2.5. Context territorial dels països objecte d'estudi | 12 |
| 2.5.1. Uruguai | 12 |
| 2.5.2. Bolívia..... | 16 |
| 2.5.3. Costa Rica..... | 18 |
| 3. HISTÒRIC VE I EMISSIONS DE CO₂ | 21 |
| 3.1. Metodologia i tractament de les dades històriques per l'estudi | 21 |
| 3.1.1. Metodologia de càlcul del vector energètic..... | 21 |
| 3.1.2. Metodologia de càlcul de les emissions de CO ₂ | 23 |
| 3.2. Històric VE | 24 |
| 3.2.1. VE Bolívia | 25 |
| 3.2.2. VE Costa Rica | 25 |
| 3.2.3. VE Uruguai | 26 |
| 3.2.4. VE Guatemala | 27 |
| 3.2.5. VE Paraguai..... | 28 |
| 3.3. Històric d'emissions de CO ₂ | 29 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.3.1. | Emissions de CO ₂ de Bolívia | 30 |
| 3.3.2. | Emissions de CO ₂ de Costa Rica | 31 |
| 3.3.3. | Emissions de CO ₂ de Guatemala..... | 32 |
| 3.3.4. | Emissions de CO ₂ de Paraguai..... | 32 |
| 3.3.5. | Emissions de CO ₂ d'Uruguai..... | 33 |
| 4. | ESCENARIS BAU | 35 |
| 4.1. | Escenari BAU del vector energètic | 35 |
| 4.1.1. | VE Escenari BAU d'Uruguai | 38 |
| 4.1.2. | VE Escenari BAU de Costa Rica | 39 |
| 4.1.3. | VE Escenari BAU de Bolívia | 40 |
| 4.1.4. | VE Escenari BAU de Guatemala | 41 |
| 4.1.5. | VE Escenari BAU de Paraguai | 42 |
| 4.2. | Emissions de CO ₂ de l'escenari BAU | 42 |
| 4.2.1. | Emissions de CO ₂ Escenari BAU d'Uruguai | 43 |
| 4.2.2. | Emissions de CO ₂ Escenari BAU de Bolívia | 43 |
| 4.2.3. | Emissions de CO ₂ Escenari BAU de Costa Rica | 44 |
| 4.2.4. | Emissions de CO ₂ Escenari BAU de Guatemala | 45 |
| 4.2.5. | Emissions de CO ₂ Escenari BAU de Paraguai | 46 |
| 5. | ESCENARIS ALTERNATIUS | 47 |
| 5.1. | Escenari Alternatiu per Uruguai | 48 |
| 5.2. | Escenari Alternatiu per Bolívia | 52 |
| 5.3. | Escenari Alternatiu per Costa Rica | 55 |
| 6. | ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL | 59 |
| | CONCLUSIONS | 61 |
| | PRESSUPOST | 64 |
| | REFERÈNCIES | 67 |
| | BIBLIOGRAFIA | 71 |
| | ANNEXES | 73 |

1. Objectius i abast del projecte

En aquest apartat s'explica les motivacions, objectius i abast que ha portat a la realització d'aquest treball.

1.1. Objectius

Els objectius que es plantegen en aquest treball són els següents:

- Obtenir un coneixement aproximat sobre el context territorial de Bolívia, Costa Rica i Uruguai, els quals s'estudien projeccions de futur alternatives.
- Elaborar l'històric del vector energètic de cada país i les seves emissions de CO₂ associades a partir de dades fiables. A partir d'aquests, estudiar l'evolució de les emissions entre els anys 1990-2015.
- Determinar els Escenaris *Business As Usual* (BAU) a partir d'una taxa de variació i fer una anàlisi crítica sobre els resultats obtinguts.
- Plantejar escenaris de futur d'acord amb el context de cada cas i amb l'objectiu de mitigar les emissions de diòxid de carboni de cada país.

1.2. Abast i motivació

L'abast d'aquest projecte contempla els històrics dels vectors energètics de cada país així com les seves emissions associades com a paràmetre per plantejar escenaris alternatius i modificar el consum de fonts energètiques primàries. També s'inclou els escenaris *Business as Usual* del vector energètic de tots els països per formular alternatives exclusivament sobre les seves components i no modificar el seu consum energètic total. Es descarta elaborar escenaris de futur dels països que tenen un vector energètic on predominen les fonts energètiques primàries no emissores de diòxid de carboni i per tant també el coneixement del seu context territorial. En els altres casos s'analitzarà el seu context per tal de plantejar alternatives en el vector energètic les més adients possible a les polítiques que impulsa el mateix país.

La motivació per realitzar aquest treball prové de l'interès des de fa molts anys del mateix autor sobre el canvi climàtic i les seves conseqüències. Les referències sobre la metodologia i la implicació de la directora i codirectora també han sigut claus a l'hora de fer aquest treball. Es pretenia realitzar un projecte relacionat amb el grau universitari que s'està cursant i que despertés l'interès del mateix autor.

2. Introducció

2.1. El canvi climàtic i les seves causes

El canvi climàtic, associat a l'escalfament global provocat pel desenvolupament industrial al llarg dels últims dos segles^[1] (en especial el segle XX.), ha esdevingut uns dels principals reptes per la supervivència de l'ésser humà i, més generalment, dels éssers vius que habiten el planeta Terra.

-Efecte hivernacle

L'atmosfera que recobreix el planeta Terra interactua amb les ones electromagnètiques que provenen de l'estrella que es troba en el nostre sistema: el Sol, principal font d'energia del planeta. Una part important d'aquestes ones, principalment la radiació tèrmica visible, travessa l'atmosfera i arriba a la superfície de la Terra. Al seu torn, la superfície de la Terra emet radiació tèrmica (majoritàriament radiació infraroja) cap a l'espai exterior. Una part d'aquesta radiació tèrmica emesa per la superfície és absorbida per l'atmosfera, principalment a la troposfera, que al seu torn emet radiació tèrmica cap a la superfície del planeta. L'evolució de la temperatura mitjana de la superfície de Terra ve determinada pel balanç dinàmic entre aquestes radiacions. S'assoleix un equilibri quan la radiació tèrmica emesa per la Terra cap a l'espai exterior, que depèn de temperatura mitjana de la seva superfície, és suficient per a compensar la radiació solar absorbida per la Terra. La temperatura mitjana de la superfície de la Terra necessària per a assolir aquest equilibri és superior a la que seria necessària en absència d'absorció de radiació tèrmica per l'atmosfera. Aquest fenomen és conegut com "efecte hivernacle". Com a conseqüència d'aquest efecte, si l'absorció de radiació tèrmica per l'atmosfera s'incrementa, la temperatura mitjana de la Terra augmenta de forma corresponent fins que s'assoleix un nou equilibri.

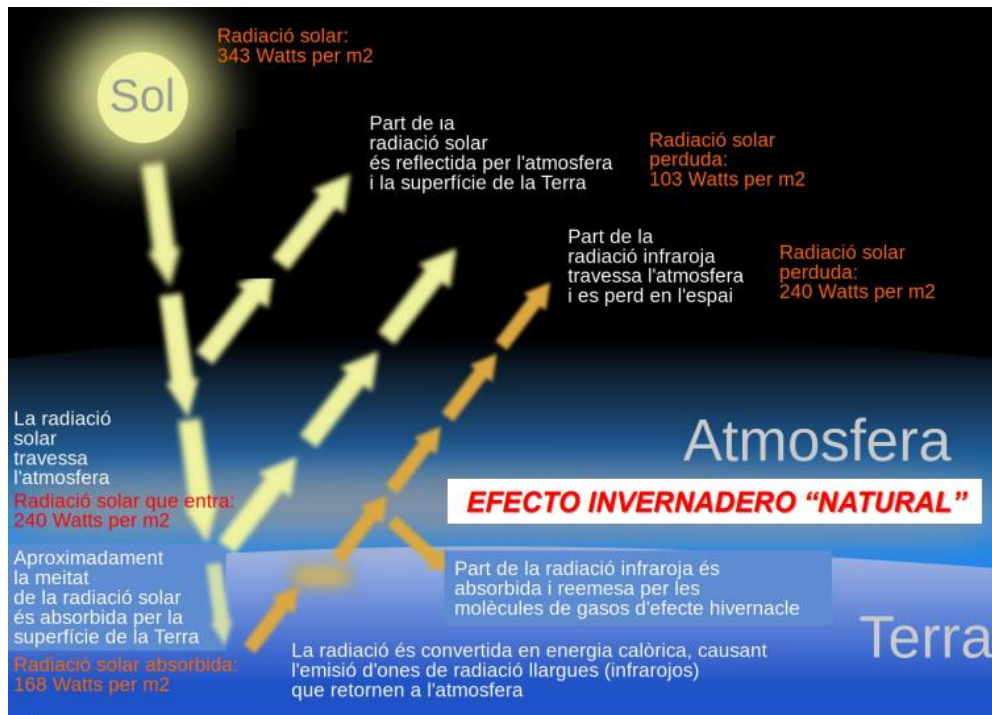


Figura 1. Explicació de l'efecte hivernacle natural de la Terra. (Font: UPC ^[1])

Aquesta capacitat que té la troposfera per absorbir la radiació tèrmica emesa per la superfície del planeta prové de la seva composició. En efecte, alguns dels gasos que es troben a l'atmosfera, i que es mantenen suspesos a una certa alçada gràcies a la gravetat terrestre, són els responsables que aquesta capa de l'atmosfera del planeta absorbeixi la radiació tèrmica que emet la superfície terrestre. Aquests gasos, dits gasos d'efecte hivernacle, són principalment el diòxid de carboni, el metà i el vapor d'aigua, sent aquest últim i el primer els majoritaris dins la troposfera.

L'efecte hivernacle és un procés dinàmic i natural, i és primordial per que la vida a la Terra tal com la coneixem sigui viable. Sense aquest efecte, la temperatura mitjana de la superfície del planeta seria uns 33 °C més baixa^[1](actualment és de 15 °C i passaria a ser de -18 °C) i la vida actual sobre la Terra no seria possible.

2.1.1. Sobreescalfament global

Com a conseqüència de l'activitat humana, principalment des de la primera revolució industrial, es produeix un augment significatiu de la concentració de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera i per tant un increment de l'absorció de radiació tèrmica per l'atmosfera, que provoca un increment de la temperatura mitjana de la superfície de la Terra i de la seva atmosfera conegut com a "sobreescalfament global". En efecte, l'ús de combustibles fòssils i la intensificació de l'ús del sol han modificat progressivament la composició, tant relativa com absoluta, dels gasos dits d'efecte hivernacle que coexisteixen dins la troposfera. La conseqüència final és un sobreescalfament global de

l'atmosfera i, conseqüentment, de la superfície terrestre, que afecta les condicions de la vida al nostre planeta. Aquest fenomen, conegut com a efecte hivernacle antropogènic, amenaça la supervivència dels éssers vius de la Terra que no puguin adaptar-se a les noves condicions. .

Per a il·lustrar el fenomen de desequilibri radiatiu s'utilitza un terme dit "forçament radiatiu". Aquest es defineix com la diferència entre la radiació solar absorbida per la Terra i la radiació de la Terra cap a l'espai exterior, expressada en W/m² i relativa a les condicions que existien l'any 1750. Un forçament radiatiu positiu indica un desequilibri provocat per l'activitat humana en el balanç radiatiu, que provoca un reescalfament global.

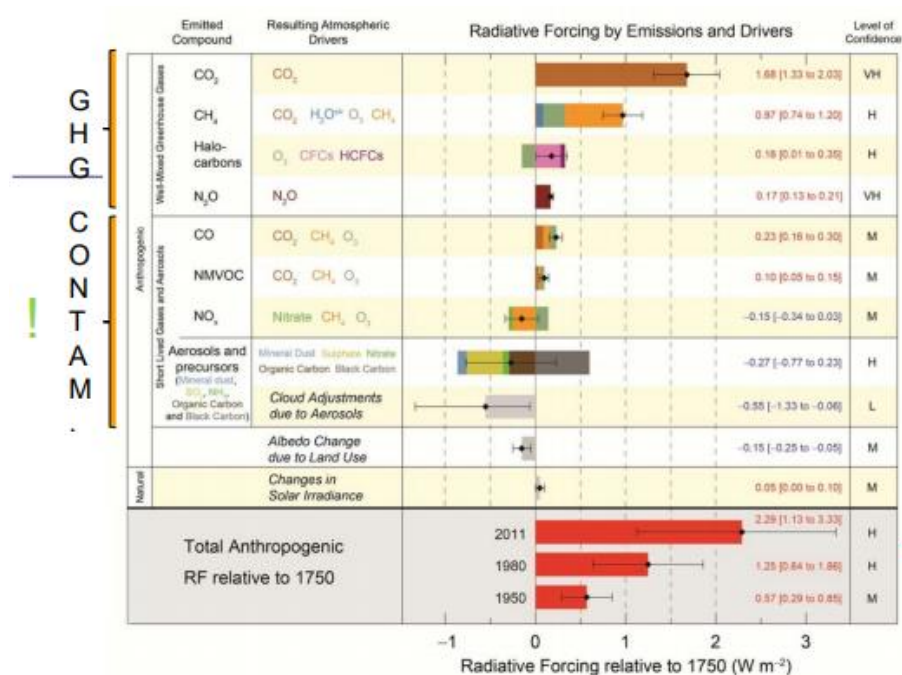


Figura 2. Forçament radioactiu relatiu al 1750. (Font: UPC^[1])

En la Figura 2, es pot veure clarament com el forçament radiatiu esdevé positiu a partir del gran desenvolupament industrial que es va realitzar a durant el segle XIX i el segle XX. D'acord amb l'IPCC AR5 (Informe del 2014 sobre el canvi climàtic elaborat per *Intergovernmental Panel on Climate Change*), el forçament radiatiu és de 2,29 W/m² referit a l'any 1750 i la part més important del mateix es deu al diòxid de carboni (1,68 W/m²)^[2].

2.2. Emissions de CO₂

Les emissions de CO₂ són el principal factor de canvi en el balanç radiatiu, segons l'IPCC-2014.

| Greenhouse Gas | Human Source (Examples) | % of Total Global GHG Emissions (2010) |
|---|--|--|
| Carbon dioxide (CO ₂) | Fossil fuel combustion, land use changes, cement production, ... | 76% |
| Methane (CH ₄) | Fossil fuel mining/distribution, livestock, rice agriculture, landfills, ... | 16% |
| Nitrous oxide (N ₂ O) | Agriculture (fertilisers) and associated land use change, ... | 6% |
| Hydrofluorocarbons (e.g. HFCs) | Liquid coolants, ... | < 2% |
| Perfluorocarbons (e.g. PFCs) | Refrigerant, electronics industry and aluminium industry, ... | < 2% |
| Sulphur hexafluoride (SF ₆) | Insulator in electronics and magnesium industry, ... | < 2% |
| Nitrogen trifluoride (NF ₃) | Electronics and photovoltaic industries, ... | < 2% |

Figura 3. Presència percentual de GHG a l'atmosfera (gasos d'efecte hivernacle) a l'atmosfera. (Font: IPCC 2014^[2])

Com es pot observar en la Figura 3, els tres primers gasos d'efecte hivernacle més abundants són el diòxid de carboni, el metà i l'òxid nitrós, sent el primer el més abundant. Tot i això, cadascú contribueix de manera diferent en l'efecte hivernacle, en funció de diferents paràmetres com poden ser el temps de permanència a l'atmosfera o l'eficiència d'absorció de radiació tèrmica, com es pot veure a la Figura 4.

| Industrial Designation or Common Name (years) | Chemical Formula | Lifetime (years) | Radiative Efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹) | Global Warming Potential for Given Time Horizon | | | |
|---|------------------|------------------------|---|---|-------|--------|--------|
| | | | | SAR ⁺ (100-yr) | 20-yr | 100-yr | 500-yr |
| Carbon dioxide | CO ₂ | See below ^a | ^b 1.4x10 ⁻⁵ | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Methane ^c | CH ₄ | 12 ^c | 3.7x10 ⁻⁴ | 21 | 72 | 25 | 7.6 |
| Nitrous oxide | N ₂ O | 114 | 3.03x10 ⁻³ | 310 | 289 | 298 | 153 |

Figura 4. Comportament dels diferents gasos a efecte hivernacle en relació amb la radiació tèrmica. (Font: IPCC 2007^[3])

El potencial d'escalfament global mostrat a la Figura 4 és relatiu al diòxid de carboni. Com es pot veure, tant el metà com l'òxid nitrós tenen un potencial d'escalfament global elevat. Tanmateix, si es té en compte la proporció de presència d'aquests dos gasos (16% pel metà i 6% per l'òxid nitrós), que és molt més baixa que la del diòxid de carboni (76%), resulta que la contribució global d'aquest últim en l'efecte hivernacle és més important.

Des que es va començar a investigar sobre els elements determinants que contribuïen realment al canvi climàtic, s'ha arribat a la conclusió que existeix una correlació directa entre la temperatura mitjana de la superfície del planeta i la concentració de CO₂ en l'atmosfera. La temperatura mitjana de

la superfície del planeta és un paràmetre que determina en gran part la meteorologia de la Terra, ja que influeix en precipitacions, núvols, etc., i més generalment en els patrons de comportament atmosfèric.

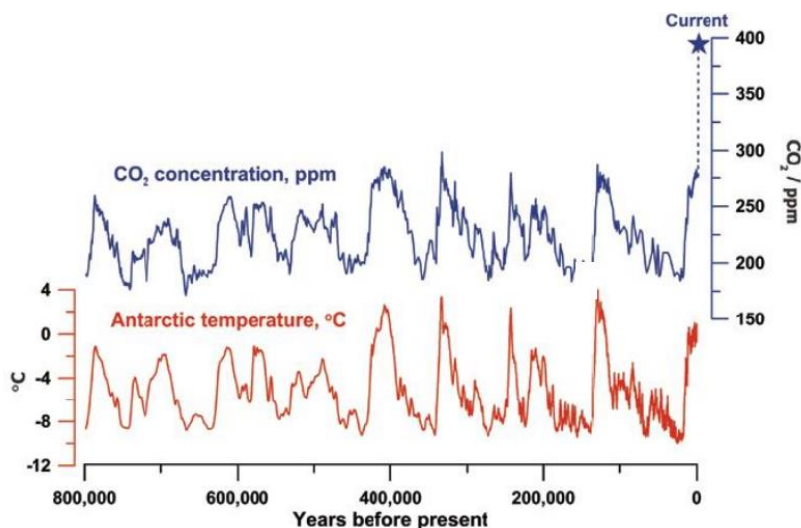


Figura 5. Relació entre la concentració de CO₂ i la temperatura mitjana del planeta. (Font:UPC^[4])

La Figura 5 mostra de manera inequívoca que existeix una relació entre els canvis de temperatura mitjana al llarg de la història i la concentració de diòxid de carboni a l'atmosfera. Com que l'activitat humana des de l'inici de la primera revolució industrial ha provocat un augment molt important de la concentració de CO₂ a l'atmosfera, es pot deduir que estem en presència d'un fenomen de sobreescalfament global del planeta que és antropogènic.

2.3. Política sobre canvi climàtic

Arran de les guerres mundials del segle XX, els diferents Estats del món van crear el que es coneix com a Nacions Unides. Aquest òrgan no té cap mena de sobirania sobre els seus Estats membres, sinó que és una organització on les diferents nacions intenten treballar conjuntament i prendre acords polítics sobre diferents problemàtiques del món. Aquests acords, que es promouen des de l'organització, han de ser ratificats posteriorment per una majoria d'Estats que formen part de les Nacions Unides.

Per tal d'entendre millor com ha evolucionat la política mediambiental, es farà un breu repàs de les diferents organitzacions que existeixen actualment i que tenen un paper rellevant en els acords mundials sobre canvi climàtic.

2.3.1. UNFCCC

La UNFCCC (en anglès, *United Nations Framework Convention on Climate Change*) va ser aprovada a la cimera Rio+92 de les Nacions Unides i ratificada l'any 1994. Actualment compta amb 197 països

adherits^[5]. Aquesta convenció té com a principal objectiu aconseguir que les emissions de gasos a efecte hivernacle s'estabilitzin fins a arribar a un punt on l'activitat humana no provoqui més efectes negatius dins el sistema climàtic del planeta. Aquest punt hauria de servir per que els ecosistemes es puguin adaptar de manera natural al canvi climàtic ja ocasionat, permetent al mateix temps el desenvolupament econòmic de la humanitat.

Les seves reunions reben el nom de Conferències de les Parts (COP). L'adopció d'acords en aquestes reunions és difícil pel fet que els acords s'adopten de manera consensuada i amb dret de vet. Per altra banda, els principis de funcionament es van establir sobre la base d'una classificació de països en funció del seu grau de desenvolupament, i en un moment històric (l'any 1992) on el coneixement sobre canvi climàtic no era l'actual. Des d'aleshores, el grau de desenvolupament econòmic i industrial de molts dels països adherits ha evolucionat significativament, de tal manera que la classificació de països no es correspon amb la realitat actual. Aquesta situació provoca discussions entre els països, que dificulten encara més l'adopció d'acords.

2.3.2. Protocol de Kyoto

L'any 1997 es va dur a terme la conferència COP3 de la UNFCC a la ciutat de Kyoto. L'acord al qual es va arribar en aquesta reunió es coneix com a Protocol de Kyoto i va entrar en vigor l'any 2005. L'acord fixava una reducció de 5% (respecte a l'any 1990) de les emissions de gasos d'efecte hivernacle entre el període de 2008 i 2012^[6]. Sis gasos d'efecte hivernacle van ser inclosos en aquest acord, concretament el diòxid de carboni, el metà, l'òxid nitrós i tres gasos fluorats. Aquesta reducció s'havia de produir de manera global, però cada país tenia un objectiu concret de disminució d'emissions. L'entrada en vigor es va fer efectiva en el moment que els països industrialitzats responsables d'almenys un 55% de les emissions d'aquests gasos van ratificar aquest acord.

Cal destacar que els Estats Units no van ratificar l'acord, ja que el Congrés d'aquest país va votar en contra. De manera similar, Canada va acabar abandonant l'acord l'any 2011, després de no pagar les corresponents multes per incompliment dels seus compromisos. La Unió Europea, per la seva banda, va ser ambiciosa i es va comprometre a reduir un 8% les seves emissions de gasos hivernacle, però repartint aquesta reducció entre els seus països membres segons criteris econòmics i mediambientals, de manera que a alguns se'ls permetia augmentar les seves emissions mentre que d'altres havien de reduir-les.

L'any 2005 on, a Canada, es va constituir el Grup de treball Especial sobre Futurs Compromisos de les Parts que conformen l'Annex I de la UNFCC, amb l'objectiu d'establir plans de futur posteriors al 2012. En la tercera reunió de seguiment del protocol, el COP13 de l'any 2007, es va acordar un full de ruta per tal d'establir els objectius posteriors a l'any 2012, que s'havien de concretar entre el COP 15 de Copenhaguen i el COP16 de Cancún. En aquest últim, els 190 països, tret de Bolívia, van reafirmar la

vigència del segon període del protocol i la voluntat d'augmentar les seves ambicions per reduir les emissions^[6]. Finalment, el segon període del protocol va estar marcat per la COP 18, on es va ratificar la vigència de l'acord fins a l'any 2020 i on es va denotar el poc compromís per part de països industrialitzats tan importants com els Estats Units o Rússia, que van acabar desmarcant-se. En conseqüència, el segon període del Protocol de Kyoto no té actualment les ratificacions necessàries per entrar en vigor^[6]. Malgrat això, en aquesta última reunió es va continuar amb el treball que s'havia començat en la COP17, amb l'objectiu de superar les mancances que s'havien detectat i amb el propòsit d'arribar a una homologació internacional en matèria d'adaptació i mitigació del canvi climàtic.

Els últims acords adoptats es poden qualificar de molt menys ambiciosos que els inicials, principalment a conseqüència de la sortida de països, com els Estats Units, amb una rellevància molt important per la política econòmica mundial.

2.3.3. Acord de París fins a l'actualitat

L'Acord de París és un acord pres dins la UNFCC, que estableix mesures per la reducció d'emissions dels gasos d'efecte hivernacle, amb la finalitat d'adaptar i mitigar els canvis que provocaria un sobreescalfament global en els ecosistemes.

Va sorgir de la necessitat d'obtenir un full de ruta compatible per totes les Parts de la UNFCC, arran del fracàs de la reunió de l'any 2009 a Copenhaguen. La seva aplicabilitat és per l'any 2020, últim any de vigència del segon període del protocol de Kyoto. Va ser negociat en la COP 21 pels 195 països membres de la conferència i ratificat l'any 2016. L'any 2017, els Estats Units es van retirar de l'acord com a conseqüència de la política impulsada pel seu president, Donald Trump, envers uns interessos econòmics nacionals i de caràcter més protector.

Les mesures concretes acordades a través d'aquesta conferència les defineix l'article 2 de l'Acord de París^[7]:

- *Mantenir l'augment de la temperatura mitjana mundial molt per sota de 2 °C respecte als nivells preindustrials, i prosseguir els esforços per a limitar aquest augment de la temperatura a 1,5 °C respecte als nivells preindustrials, reconeixent que això reduiria considerablement els riscos i els efectes del canvi climàtic;*
- *Augmentar la capacitat d'adaptació als efectes adversos del canvi climàtic i promoure la resiliència al clima i un desenvolupament amb baixes emissions de gasos d'efecte d'hivernacle, d'una manera que no comprometi la producció d'aliments;*
- *Eleva els corrents financers a un nivell compatible amb una trajectòria que condueixi a un desenvolupament "resilient" al clima i amb baixes emissions de gasos d'efecte d'hivernacle.*

Addicionalment, els països signants han de presentar els seus plans generals d'acció contra el canvi climàtic (NDCs) i reunir-se cada 5 anys per tal de fixar objectius més ambiciosos segons criteris científics, i informar i avaluar els seus avenços en la matèria. Per complir l'objectiu marcat, les Parts van acordar arribar a un punt d'emissions màximes mundials, com més aviat millor, per després començar a marcar una tendència encaminada a una reducció radical d'aquestes emissions en la segona meitat del segle XXI. El primer encontre per avaluar el balanç mundial de les polítiques energètiques desenvolupades es farà l'any 2023, i a partir d'aquest es faran revisions cada 5 anys^[8]. En aquests encontres, s'informarà de l'estat en el qual es troba cada país i s'actualitzaran els plans de treballs nacionals per tal d'ajustar-los als objectius marcats per l'Acord.

A diferència d'altres acords, en aquest cas, i per primer cop, es va consensuar un objectiu clar amb una metodologia per dur a terme l'acord. A més a més, es va preveure un mecanisme d'avaluació que per primera vegada entrava en escena, però que no contemplava una retroalimentació (és a dir, no hi havia un seguiment entre les diferents avaluacions).

L'entrada en vigor de l'acord va produir-se al cap de poc temps de finalitzar la reunió de les Parts a París l'any 2016. sense haver definit amb suficient profunditat les metodologies necessàries per dur a terme l'Acord. Les conseqüències negatives d'aquesta imprevisió es van fer patents a la COP22 celebrada a Marrakech, el novembre del 2016. Es va reunir en la seva primera sessió la CMA (en anglès, *Conferences of the Parties serving at the Meeting of the Parties to the Paris Agreement*), organisme encarregat de considerar i aprovar les directrius, modalitats, normes i procediments oportuns que l'APA (*Ad Hoc Working Group on the Paris Agreement*) havia d'entregar en aquesta reunió. L'APA no va poder presentar les seves propostes, i la CMA va posposar la seva primera reunió fins al 2018^[7].

2.3.4. IPCC

El Grup Intergovernamental d'Experts sobre Canvi Climàtic (IPCC) és una organització internacional que reuneix experts en la matèria i que va ser creada l'any 1988 a petició dels països membre de les Nacions Unides^[9]. El seu principal objectiu és l'elaboració d'estudis científics exhaustius dins una òptica que promogui la màxima objectivitat. De la mateixa manera, aquests estudis han de ser oberts i transparents, aglutinant aspectes científics, tècnics i socioeconòmics que siguin rellevants per determinar el risc d'un canvi climàtic provocat per l'activitat humana. Milers d'experts conformen aquesta comunitat de manera voluntària, en la qual s'elaboren informes per determinar les repercussions, adaptacions i l'atenuació del canvi climàtic.

El quart informe de l'IPCC, conegut com AR4, és el més ampli i detallat, i conté una avaluació de la situació referent al canvi climàtic. Va ser elaborat l'any 2007 per 500 autors i 1200 revisors experts de més de 120 països^[9]. Les conclusions que es van extreure van ser que l'escalfament del sistema climàtic era una evidència (basada en les observacions sobre els canvis en les temperatures de l'aire, l'oceà,

etc.) i que molt probablement els gasos d'efecte hivernacle produïts de manera antropogènica durant el segle XX eren els responsables del sobreescalfament climàtic^[8]. A més a més, s'indica en l'informe que per tal d'estabilitzar la concentració de GEI a l'atmosfera, s'hauria d'arribar a un pic en les emissions per seguidament disminuir aquestes emissions tan aviat com es pugui. D'aquesta manera s'arribaria a un punt d'estabilització de la temperatura el més baix possible i per tant s'aconseguiria mitigar el màxim possible aquest canvi climàtic. Aquest informe es va publicar just abans de la Convenció de Copenhaguen, i afirmava que els països de l'Annex I s'havien de comprometre a reduir entre el 20% i el 40% les emissions respecte al 1990 i entre el 80% i 95% pel 2050 si es volia evitar un augment de temperatura superior a 2 °C. Els països que no són Parts de l'Annex I haurien de reduir-les entre el 10% i 30% pel 2020 i entre el 40% i el 90% per l'any 2050, cosa que va suscitar una gran discrepància entre països, impossibilitant l'adopció d'un acord en aquella Conferència^[8].

En l'AR5 de l'IPCC, publicat l'any 2014, es van establir escenaris hipotètics de futur incloent factors claus del desenvolupament humà, la influència d'aquests factors en les emissions de GEI i la capacitat per respondre a aquestes suposicions. Un dels elements més importants d'aquestes projeccions és que s'estableixen en funció de la intervenció humana en el sistema climàtic. D'aquesta manera, l'informe inclou quatre possibles escenaris, incloent-hi escenaris de forçament radiatiu que van de 2,6 W/m² fins a 8,5 W/m². En aquest escenari, s'introdueix el concepte de GLOBAL CARBON BUDGET, que es refereix a la quantitat total d'emissions de CO₂ que encara es poden alliberar a l'atmosfera, si es vol respectar un límit màxim d'augment de la temperatura de 2 °C. De tots els escenaris que es plantegen, l'únic que es defineix com a "probable" que pugui assolir l'objectiu dels 2 °C és el RCP2.6 (referent a l'escenari on el forçament radiatiu és de 2,6 W/m²)^[8]. Tot i això, els escenaris no es refereixen a la trajectòria en si de reducció, sinó més aviat a la quantitat d'emissions de diòxid de carboni que es pot encara emetre

Dins aquest concepte de GLOBAL CARBON BUDGET existeixen maneres d'introduir una certa ètica, que es coneix com a justícia climàtica, que no vagi en contra de l'objectiu de distribució d'emissions de diòxid de carboni que encara es poden alliberar a l'atmosfera. Una d'aquestes rep el nom de Model de Justícia Climàtica per Càpita (MCJ) i ha estat elaborat pel grup GGCC-UPC amb l'objectiu de determinar la quantitat d'emissions que estarien a l'abast de tots els països de la UNFCCC fins a l'any 2100. Aquest model es basa en tractar de determinar les responsabilitats històriques de cada Estat Part de la UNFCCC en matèria d'emissions, tractant per igual a tots els habitants del planeta. D'aquesta manera, si històricament un Estat ha tingut menys responsabilitat, es considera que aquest Estat pot realitzar més emissions per càpita en el futur. Al contrari, un Estat que ha tingut més responsabilitat podrà realitzar menys emissions per càpita^[8].

L'últim informe formulat per l'IPCC rep el nom de SR1.5 i és un document que tracta sobre l'1,5 °C. Es va publicar el 7 d'octubre de 2018 i les seves conclusions demostren la urgència de reduir les emissions de gasos a efecte hivernacle.

2.4. Vector Energètic

El vector energètic és un dels elements que fonamenten aquest treball i a partir del qual s'establirà l'estudi que és l'objecte d'aquesta memòria. Aquest element es defineix com el conjunt de recursos energètics que provenen de fonts primàries (és a dir que no s'ha produït cap transformació ni canvi sobre ells) que un país consumeix al llarg d'un any per tal de satisfer les seves necessitats energètiques (com per exemple el consum d'energia elèctrica). En aquests recursos energètics s'inclouen els importats, ja que es té en consideració que es consumeixen en el mateix país, encara que provenguin d'altres territoris. En canvi, no s'inclouen els recursos exportats, que acaben sent consumits en altres territoris.

Mitjançant aquest vector, es poden calcular les emissions associades al diòxid de carboni d'un país, separant fonts primàries d'energia en dos grups principals: les emissores i les no emissores. Les fonts emissores inclouen el petroli i els seus derivats, el gas natural i el carbó mentre que les fonts no emissores inclouen l'energia nuclear, la hidroelèctrica, el biocombustible i altres energies renovables (energia solar, geotèrmica, eòlica, etc.). En aquest treball, la recollida de dades que determinaran el vector energètic de cada país es farà a partir de les dades publicades per l'IEA (*International Energy Agency*). Per tal de facilitar l'obtenció de dades, s'ha adoptat l'agrupació de fons d'energia utilitzada per l'IEA.

2.5. Context territorial dels països objecte d'estudi

Conèixer les particularitats i característiques de cada país el qual s'estudiarà és un dels objectius plantejats en aquest treball. D'aquesta manera, es podrà plantejar alternatives més realistes i vàlides per cadascun d'aquests territoris. Aquests escenaris alternatius aniran encaminats a modificar les components dels seus vectors energètics per arribar a una transició energètica compromesa amb el medi ambient.

2.5.1. Uruguai

Context territorial

Uruguai és un país ubicat en el continent d'Amèrica del Sud, delimitat per Brasil pel Nord i Nord-est, per Argentina en el costat Oest del territori i per l'Oceà Atlàntic a l'Est. Té una superfície terrestre de 176215 km² i una extensió de 140000 km² de mar, illes i aigües jurisdiccionals de rius i llacunes limítrofes. La major part de la població es concentra en el departament de Montevideo.

Aquest país ha anat avançant progressivament en els indicadors bàsics de desenvolupament humà, obtenint actualment un índex de Desenvolupament Humà (IDH) de 0,79 i ocupant el lloc 52 en

l'ordenament mundial de països segons aquest mateix índex. Al mateix temps, ha aconseguit reduir el percentatge de pobresa, que era del 39,9%, fins al 9,7% del període actual^[10]. Segons les Nacions Unides, Uruguai és considerat com un país d'ingrés mitjà i alt desenvolupament humà, comptant amb un accés a l'electricitat en àrees urbanes i serveis d'alt nivell i qualitat. La principal ocupació i motor de l'economia d'aquest país està basada en cadenes agrícoles de caràcter industrial.

En matèria de recursos naturals, és un territori que consta d'una gran biodiversitat. Però, l'oferta d'energia primària es basa principalment en el petroli i l'energia hidroelèctrica, sent a partir dels anys 2007 i 2008 quan s'introdueixen a la xarxa elèctrica el recurs eòlic i de residus de biomassa^[10].

Uruguai és dels pocs països llatinoamericans que presenta un clima suau, amb temperatures mitjanes de 17,5 °C, 75% d'humitat relativa i precipitacions anuals de 1300 mm^[10]. El vent bufa primordialment des del sector Nord-est cap a l'Est amb una velocitat de 4 m/s de mitjana i 7 m/s com màxim en el sector Sud-oest^[10]. En èpoques de temporals, es poden donar vents molt forts, amb una velocitat de fins a 200 km/h^[10]. Aquests temporals s'han produït de manera més freqüent en els darrers anys, segons reconeix el mateix Govern del país. Aquests han augmentat la seva magnitud i la seva freqüència, provocant pèrdues socioeconòmiques importants, ja que les seves principals activitats econòmiques depenen d'un clima favorable.

Gasos d'efecte hivernacle

La *Comunicación Nacional sobre Cambio Climático* d'Uruguai revisa quins gasos a efecte hivernacle emet el país i quins sectors són els principals responsables des del 1990 fins al 2012. En aquest informe, es recull que l'any 2012 el sector Energètic va ser el responsable del 95% de les emissions de CO₂ del país, mentre que el sector de Processos Industrials va generar el 5% restant^[10]. La suma total d'emissions de diòxid de carboni ascendeix a un total de 8199 Gg^[10]. Dins el mateix sector Energètic, les indústries energètiques i el transport són responsables de la major part de les emissions, amb un 37,9% i un 37,8% respectivament del total generat^[10]. La indústria energètica produeix diòxid de carboni, ja que consumeix combustibles fòssils en les centrals tèrmiques i el transport. El processament de cru de petroli en refineries és la principal font d'energia del transport. La gran dependència del país en l'energia hidroelèctrica com principal font de producció d'electricitat genera dificultats. L'any 2012, on les habituals precipitacions van disminuir, es va augmentar el consum de recursos fòssils per tal de compensar la falta de producció d'electricitat generada per les adverses condicions climàtiques d'aquell any^[10].

Sectors més emissors de diòxid de carboni

Observant el Diagrama de Sankey d'Uruguai de l'IEA, es pot afirmar que la principal part que directament emet partícules de CO₂ són els subsectors del transport i de la producció d'energia

elèctrica^[11]. Per tant, a continuació s'analitza històricament aquests sectors per obtenir una visió general sobre ells.

Energia Elèctrica

Aquest sector ha patit un canvi molt significatiu en aquests últims anys, derivat de la Política Energètica 2008-2030 promoguda pel Govern uruguaià. Això es reflecteix en la inversió de 7000 milions d'USD en el sector, equivalent a un 6% del PIB l'any 2014 del país i que va comportar una important transformació de la matriu energètica^[10]. Aquest sector està caracteritzat per tenir una forta presència d'empreses estatals, de caràcter més aviat monopolista, i està regulat per l'Estat.

Uruguai no té reserves fòssils pròpies i per tant depèn exclusivament d'importacions que provenen de l'exterior. En conseqüència, el país depèn d'importacions de petroli per produir energia en les centrals tèrmiques, ja que el gas natural ha anat reduint-se a causa de la inestabilitat d'aprovisionar-se d'aquest recurs des de l'Argentina^[10].

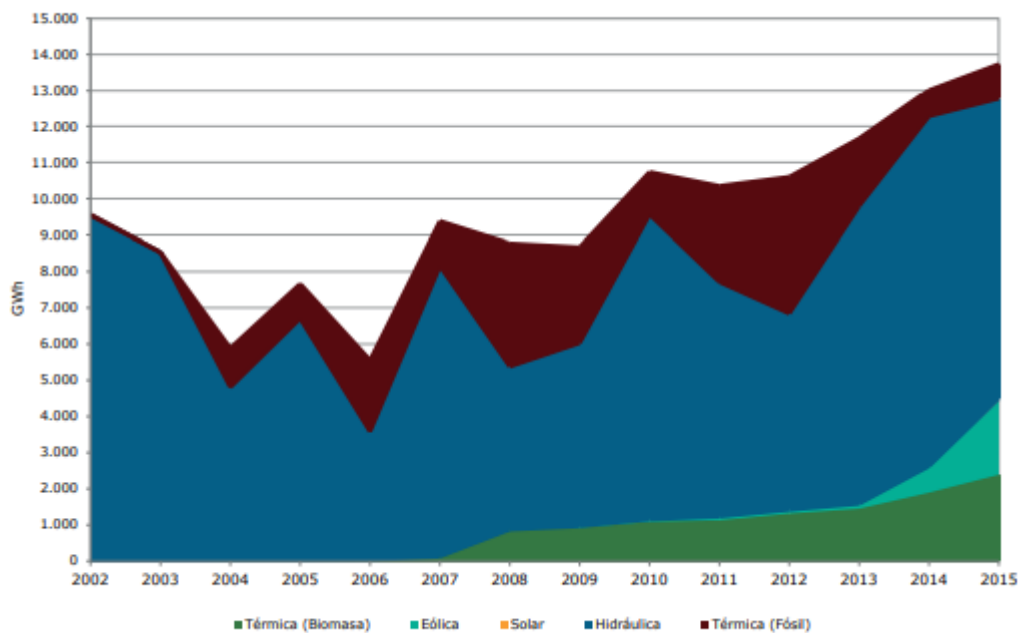


Figura 6. Generació d'electricitat acumulada de les fonts energètiques de Bolívia. (Font: NDC Uruguai^[10])

Com es pot observar en la Figura 6, històricament el país sempre ha tingut una producció elèctrica que depenia molt de la hidràulica així com de la crema de combustibles fòssils, sent la primera d'aquestes la part majoritària en la matriu. Aquesta dependència, sumada al canvi climàtic i la seva impredictibilitat, generava uns canvis en la producció hidràulica que feien fluctuar la matriu energètica i conseqüentment les emissions de CO₂ derivades d'aquest subsector. En un principi, es van suplir

aquestes carències amb la incorporació de centrals tèrmiques que cremaven combustibles fòssils. A partir de l'any 2007, la incorporació de fonts renovables no convencionals dins la matriu va permetre reduir aquesta vulnerabilitat envers la climatologia que afectava l'energia hidràulica per així no dependre tant de la importació de combustibles fòssils. Les fonts renovables que es van introduir en la producció energètica són els residus de biomassa, i l'energia eòlica així com la solar tèrmica en menor mesura i més recentment.

Actualment, el país compta amb quatre centrals hidroelèctriques i quatre centrals tèrmiques, que funcionen amb combustibles fòssils líquids. La potència eòlica total instal·lada era d'1 GW en el moment de la publicació de la Comunicació, amb la projecció d'instal·lar 0,5 GW addicionals de cara al 2017^[10]. Aquest augment de la potència instal·lada va fer que el sector eòlic, l'any 2017, representés el 25% de la potència instal·lada total i que el 37% de l'electricitat que es va produir provengués de la força del vent. L'energia solar tèrmica consta actualment de 78,5 MW en funcionament, els quals es poden sumar 6 MW en termes de micro generació^[10]. La NDC d'Uruguai preveu la incorporació de 150 MW de tèrmica solar més, que es troben actualment en construcció^[10].

Aquesta transformació de la matriu energètica ha permès al país ser pioner en matèria de consum d'electricitat a partir d'energies renovables, representant aquestes últimes el 93% de l'electricitat consumida l'any 2015. Gràcies a això, es preveu reduir en un 88% les emissions de gasos a efecte hivernacle referides a la mitjana calculada entre el període 2005-2009 en sector. Aquesta important inversió en fonts renovables ha permès al país exportar la sobreproducció d'energia. Gràcies a l'estabilitat de l'energia hidràulica aquests últims anys, s'exporta a l'Argentina, en termes de potència, l'equivalent al 50% del consum intern^[10].

Transport

El transport dins l'Estat es caracteritza per ser principalment via carretera, tan si és de càrrega o de passatgers. Aquest sector ha experimentat un augment significatiu, traduït en l'augment de trànsit per carreteres, als aeroports i ports del país, representant l'any 2014 un 4,1% del PIB^[10].

El transport de passatgers s'ha multiplicat a causa de dos factors principals: l'augment d'ingressos en les llars i del consum. El parc automotor del país ha augmentat en un 70% en els últims 8 anys, concentrant la major part dels vehicles en la capital (la meitat concretament), Montevideo. Respecte a aquest augment del transport, el govern de la capital ja està promovent certes mesures amb l'objectiu de promoure el transport públic col·lectiu més eficient (la promoció de carrils de trànsit exprés per autobusos o la incorporació de la bicicleta com a vehicle dins la mateixa ciutat són algunes de les mesures contemplades)^[10].

El transport de càrrega també ha augmentat notablement a causa del creixement de les cadenes agroindustrials del país. El trànsit en aquest àmbit s'ha multiplicat per 3,5 en els últims 10 anys^[10].

2.5.2. Bolívia

Context territorial

Bolívia es troba ubicada en el centre del Sud del continent americà i engloba un territori d'1098581 km², comptant amb serralades importants com ara els Andes. El país té una població de 10027643 habitants amb una gran varietat ètnica, ja que l'Estat reconeix oficialment 36 nacions indígenes. En el territori s'identifiquen tres conques que divideixen la distribució d'aigües escorrenties que van des de punts molt alts nevats fins a terres més tropicals passant per zones de transició amb zones amb molta vegetació. Aquestes condicions geogràfiques dibuixen una diversitat de règims de precipitacions, molt variables i en general un gran nombre d'ecosistemes que coexisteixen en el mateix país^[12].

En els anys 80, es va dur a terme una sèrie de privatitzacions d'empreses públiques, provocant un moviment reaccionari que va culminar l'any 2006 revertint aquestes mesures. L'Estat té actualment una important participació dins l'economia (21,7% del PIB), intervenint en els sectors estratègics del país al mateix temps que promou polítiques en favor del petit i mitjà productor^[12].

Bolívia és un país amb una notable reserva de liti, la qual cosa ha despertat l'interès d'empreses internacionals, ja que actualment és un material amb el qual es fabriquen les bateries de cotxe. Aquests tipus de bateries estan de moda, ja que són una alternativa als combustibles fòssils convencionals. D'altra banda, és un país amb un important estoc de gas natural que principalment s'exporta, però que també s'utilitza per produir electricitat. El sector elèctric produeix energia a partir de dos recursos principals: el gas natural i l'energia hidroelèctrica. Gràcies a la seva gran i estable producció energètica Bolívia és un país gairebé autònom energèticament parlant, permetent a l'Estat exportar energia a països veïns^[12].

El diòxid de carboni és el principal gas emissor del país, sent l'ús de la terra i la silvicultura els principals responsables (78,45% del total l'any 2004), seguit del sector energètic amb una aportació del 19,9% i els processos industrials amb el 2% del total d'emissions d'aquest gas ^[12].

Gasos d'efecte hivernacle

Tal com es pot veure en el diagrama de Sankey de l'IEA, Bolívia concentra la seva emissió de diòxid de carboni en el sector del transport, el sector energètic, l'agricultura i l'ús residencial, cosa que coincideix amb el que esmenta la seva pròpia Comunicació Nacional de l'any 2009 a la UNFCC^[13]. Per tant, s'estudiarà el context d'aquests sectors (els més importants) amb una mica més de profunditat per tal de poder plantejar solucions i reduir les emissions atenent a les característiques dels sectors implicats.

Sector energètic

Aquest sector està controlat per l'Estat, que va nacionalitzar les indústries que produeixen energia a partir dels hidrocarburs l'any 2006. Això, permet al país actuar sobre l'oferta i la demanda energètica. El país genera un 98% de l'energia que consumeix i només importa un 2% del consum energètic. Les principals fonts primàries que s'utilitzen al territori per generar electricitat són el petroli, el gas natural, l'energia hidroelèctrica i la que prové de la biomassa, sent el gas natural el principal recurs utilitzat. El subsector que actualment genera més emissions de CO₂ és el transport (48% del total l'any 2004). Les indústries energètiques són el segon subsector més emissor de CO₂ amb un 20,72% del total. La indústria de la manufactura i la construcció és la tercera en ordre d'importància amb una aportació del 18% cadascuna en el mateix any.^[12]

El que més afectaria la producció d'energia, segons la Comunicació Nacional del mateix país, seria la reducció del volum i nombre de glaceres, provocant la disminució del nivell de l'aigua a les conques on es produeix energia hidroelèctrica^[12].

En matèria de política ambiental, el mateix Estat ha impulsat diferents programes per tal de començar a mitigar les seves emissions. Són tres els principals programes que tenen l'objectiu de reduir les emissions de diòxid de carboni. El primer de tots, promou la substitució progressiva de vehicles que utilitzen petroli per vehicles que funcionen amb gas natural, requalificant i reposant els cilindres d'aquest mateix gas. El segon pretén millorar l'eficiència de l'ús energètic que es fa al país. L'últim contempla el desenvolupament de l'energia hidroelèctrica amb la implementació de sis grans centrals, que en 10 anys haurien de generar 3290 MW de potència. També s'han realitzat estudis sobre el recurs eòlic i geotèrmic, arribant a la conclusió que també són fonts energètiques viables. El mateix Estat ja contempla desenvolupar-les tal com s'especifica en la seva Comunicació Nacional sobre Canvi Climàtic a la UNFCCC del 2009^[12].

Sector agrícola

Aquest sector té una importància rellevant dins el PIB (representa el 15%), sent la segona activitat més important i a la vegada una de les més vulnerables a un canvi climàtic. Produeix un 12% del total de les emissions de carboni de l'any 2004. Per tant, es converteix en el tercer subsector més emissor d'aquest gas en el país^[12]. S'està treballant des de l'Estat per millorar l'eficiència energètica dels processos d'aquest sector.

Transport

El transport és el subsector que més emissions de diòxid de carboni produeix (47% del total l'any 2004), sent el transport terrestre el més significatiu (7% del total del transport l'any 2004)^[12].

Aquest subsector és un en els quals el país ha començat a aplicar polítiques ambientals, impulsant la progressiva substitució del combustible tradicional per, especialment, GNC o sistemes duals benzina-GNC. Sumat a això, també es té present des de l'Estat la millora i control dels desplaçaments que es realitzen a les grans ciutats del país a través de l'impuls del transport col·lectiu^[12].

2.5.3. Costa Rica

Context territorial

Aquest país ocupa en total 51100 km² de terra continental i 589682 km² si s'inclouen les terres marítimes i patrimonials. La seva població és de 4563539 habitants i es localitza en una regió tropical amb una gran varietat de clima, fet que va promoure que ara existeixin un total de 12 zones de vida ecològiques i bioclims diferenciats. Es troba al centre del continent Americà, fent frontera amb Nicaragua al Nord i Panamà el Sud-est. La resta del territori es troba delimitat pel mar Carib a l'Est i l'Oceà Pacífic al Sud-oest. En trobar-se en una zona de convergència entre dues plaques tectòniques, presenta un perfil geogràfic amb una activitat tectònica significativa, que provoca terratrèmols i erupcions volcàniques freqüents. Existeixen dos règims climàtics diferenciats: el Pacífic i el Carib, ambdós amb èpoques seques i plujoses. Els esdeveniments climàtics més freqüents són tempestes tropicals i huracans, entre d'altres^[14].

És un país que aglomera 34 conques hidrogràfiques a causa del perfil muntanyós que presenta el territori, presentant dos principals vessants de rius que desemboquen en l'Oceà Pacífic i en el Mar Carib. Aquests rius tenen un perfil torrentós, de curt recorregut i amb un pendent pronunciat (de l'ordre del 3% de mitjana)^[14].

L'any 2010, segons la Tercera Comunicació Nacional del país emesa a la UNFCC^[14], la font d'energia més important van ser els derivats del petroli (56,9% del consum total), seguit de la biomassa (21,2%) i l'electricitat (20,2%). La major part del consum energètic prové del transport (46% del consum total), seguit del sector industrial (24,9%) i el sector residencial (17,8%)^[14].

Gasos d'efecte hivernacle

L'inventari, que s'ha realitzat en aquesta Tercera Comunicació Nacional, s'ha elaborat analitzant quatre sectors: l'energia, els processos industrials i ús de productes, l'agricultura i la silvicultura i altres usos de la terra i rebuig.

| Fuente de emisión | Emisiones expresadas en CO ₂ equivalente Gg |
|---|--|
| Energía | 7.081,20 |
| Procesos industriales y uso de productos | 802,72 |
| Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra | -473,29 |
| Desechos | 1.378,21 |
| Total | 8.788,84 |

Figura 7. Desglossament dels sectors que emeten diòxid de carboni a Costa Rica per l'any 2010. (Font: Tercera NDC de Costa Rica^[14].)

Com es pot veure en la Figura 7, el principal responsable d'emissions de diòxid de carboni l'any 2010 va ser el sector energètic, seguit del rebuig i dels processos industrials i ús de productes, sumant un total de 8788,84 Gg de CO₂ equivalents.

Sectors més emissors de diòxid de carboni

Amb l'ajuda del diagrama Sankey de Costa Rica, es pot determinar quins són els sectors que més contribueixen a les emissions de diòxid de carboni del país.

Els sectors més responsables de les emissions d'aquest gas d'efecte hivernacle són el sector energètic, el transport i la indústria^[15]. Es profunditza a continuació sobre el context que rodeja aquests sectors i les polítiques de canvi climàtic promogudes pel mateix país.

Transport

El transport, com a sector estratègic de qualsevol país, va créixer un 3% l'any 2010 respecte al 2009, seguint una dinàmica de creixement del 3,1% de mitjana en els últims cinc anys. Els principals combustibles que es van utilitzar van ser les benzines i el dièsel (per un total del 72,8% de les fonts secundàries que s'utilitzen a Costa Rica). El 85% d'aquests combustibles van permetre la mobilitat de transports terrestres, sent el transport privat (amb un 44,5%) el més responsable dins aquest sector. El transport de càrrega ocupa el segon lloc (utilitza el 32,9% del total utilitzat al país per abastir les seves necessitats, sent el dièsel el principal), seguit del transport públic (amb un 11,5% del total)^[14]. Aquest últim té poc pes actualment en el sector i podria ser una de les opcions a potenciar per reduir les emissions en el sector transport, ja que el transport privat és el principal emissor.

Les polítiques que fins ara s'estan aplicant per mitigar les emissions d'aquest sector pretenen modernitzar i millorar l'eficiència del transport públic de la capital San José (on resideix més gent i per

tant se circula més en transport privat). A més a més, està en procés de millora la infraestructura metropolitana, per afavorir els desplaçaments no motoritzats. Aquesta millora contempla un estudi de mobilitat de la població, la creació d'un tren elèctric interurbà que busca integrà les quatre ciutats del país, la creació de restriccions d'accés a les zones congestionades de les ciutats i l'enfortiment del transport de càrrega elèctrica ^[14].

Energia

En el sector energètic, els derivats del petroli van suposar el 56,9% del consum total, seguit de la biomassa amb el 21,2% i l'electricitat amb el 20,2%^[14] l'any 2010. El consum de fonts secundàries en el sector va créixer a causa de l'augment de la producció elèctrica a partir de combustibles fòssils. L'any 2010, les principals fonts d'energia que van generar electricitat van ser la hidroelectricitat (76,4%), la geotèrmia (12,4%), la tèrmica a partir de combustibles fòssils (6,7%), l'eòlica (3,8%) i la biomassa (0,7%). Per tant, la major part de l'electricitat produïda en el país prové de fonts renovables (93,3% del total), fet que fa que Costa Rica sigui pionera en aquest aspecte en el territori centreamericà^[14]. El consum d'energia elèctrica ha augmentat un 3% en els últims 2 anys, en favor del consum industrial i en detriment del residencial. Respecte a la capacitat instal·lada, no s'especifica en la Tercera Comunicació Nacional res concret, però es menciona el seu creixement en un 4,5% entre els anys 2000 i 2010, responent a una demanda que va créixer un 3%, tret del 2009 (a causa de la crisi econòmica mundial)^[14].

Indústria

El sector industrial ha experimentat un creixement del 7% de mitjana en els últims 5 anys fins al 2009, disminuint aquell any però tornant a la dinàmica anterior de creixement l'any 2010. És el principal sector que aporta al producte interior brut del país (PIB), amb un 21,7% de participació, sent a la vegada el principal exportador (74,5% del total). Aquest creixement ha estat impulsat per subsectors com ara alumenat i mobles (87%), cautxú (27,8%), alimentària (17,4%), plàstic (16,1%) i equips de precisió i mèdics (14,5%). En detriment, altres sectors van caure percentualment la seva contribució en el sector, com ara el subsector químic, elèctric i electrònic, tèxtil i calçat^[14].

El desenvolupament de programes d'eficiència energètica forma part de les polítiques enfocades a reduir les emissions d'aquest sector. La incorporació d'energies renovables en aquest sector que reemplacin, totalment o parcialment, les de combustibles fòssils també són polítiques que el país vol posar en marxa^[14].

3. Històric del VE i de les emissions de CO₂

3.1. Metodologia i tractament de les dades històriques per l'estudi

3.1.1. Metodologia de càlcul del vector energètic

Per obtenir les dades per calcular el vector energètic dels països objecte d'estudi, s'ha consultat la pàgina web de la *International Energy Agency* (IEA)^[16], a partir de la qual s'ha extret el subministrament total d'energia primària (TPES). El TPES es defineix com l'energia que es produeix a partir de fonts primàries que es consumeix tenint en compte les importacions, exportacions, transformacions o altres processos. L'equació que la defineix és la següent:

$$\text{TPES} = P + I - E - V_{ti} - A_{ti} \pm C_e \quad \text{Eq.1}$$

On:

| | |
|--------------------------------------|--|
| P: producció d'energia primària | A _{ti} : avions internacionals de transport |
| I: importacions de la font d'energia | V _{ti} : vaixells internacionals de transport |
| E: exportacions de la font d'energia | C _e : canvis d'estoc |

Els canvis d'estoc corresponen a la diferència d'emmagatzematge de la font entre el principi i el final de l'any.

Per tal de definir el vector energètic històric, s'ha recopilat tots els TPES de les fonts primàries de cadascun dels països entre un interval d'anys, seguint la distinció que fa l'IEA entre les fonts. L'única font amb la qual no s'ha seguit la mateixa metodologia és el petroli cru.

Per tal d'entendre millor la metodologia d'obtenció de dades, a la Figura 8 es mostra el balanç de les principals fonts d'energia primària d'Argentina de l'any 1990.

| 1990 ▾ | Indicators | Balances | Coal | Electricity and Heat | Natural Gas | Oil | Renewables and Waste | | | | | |
|-----------------------------------|------------|----------|------------|----------------------|-------------|---------|----------------------|-------------------------|--------------------|-------------|------|---------|
| | | Coal* | Crude oil* | Oil products | Natural gas | Nuclear | Hydro | Geothermal, solar, etc. | Biofuels and waste | Electricity | Heat | Total** |
| Production | | 163 | 26087 | 0 | 17011 | 1897 | 1537 | 0 | 1722 | 0 | 0 | 48417 |
| Imports | | 879 | 248 | 52 | 1820 | 0 | 0 | 0 | 0 | 76 | 0 | 3075 |
| Exports | | -56 | -827 | -3589 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | -4477 |
| International marine bunkers*** | | 0 | 0 | -705 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -705 |
| International aviation bunkers*** | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Stock changes | | -50 | 4 | -201 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -247 |
| TPES | | 937 | 25512 | -4443 | 18831 | 1897 | 1537 | 0 | 1722 | 71 | 0 | 46063 |
| Transfers | | 0 | -1346 | 1462 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 117 |
| Statistical differences | | 5 | -737 | -113 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | -841 |
| Electricity plants | | -349 | 0 | -1708 | -5225 | -1897 | -1537 | 0 | -108 | 4364 | 0 | -6461 |
| CHP plants | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Heat plants | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gas works | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Oil refineries | | 0 | -23404 | 22361 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1043 |
| Coal transformation | | -378 | 0 | -400 | 0 | 0 | 0 | 0 | -104 | 0 | 0 | -882 |
| Liquefaction plants | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Other transformation | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -215 | 0 | 0 | -215 |
| Energy industry own use | | -17 | -25 | -1618 | -3804 | 0 | 0 | 0 | 0 | -170 | 0 | -5634 |
| Losses | | -6 | 0 | 0 | -230 | 0 | 0 | 0 | 0 | -799 | 0 | -1035 |

Figura 8. TPES de les diferents fons d'energies primàries d'Argentina de l'any 1990. (Font:IEA^[16])

Tal com es pot observar en la Figura 8, s'agafa els valors dels TPES de les fonts primàries que s'han remarcat a la imatge. No s'han inclòs l'electricitat i la calor (*electricity* i *heat*), ja que són fonts secundàries i amb el petroli s'ha procedit d'una manera diferent. Per aquest cas, s'ha tingut en compte més factors que simplement el seu TPES i s'ha afegit al càlcul final els productes refinats de petroli (*oil refineries* en anglès) i les transferències (*transfers*). Es pot considerar que aquests dos components produeixen emissions de CO₂, ja que els productes refinats es considera que emeten CO₂ i les transferències (segons l'informe de la *International Energy Agency, World Energy Balances*^[17]) inclouen tots els productes que són una barreja d'altres petrolis refinats importats que es reutilitzen per segon cop. Per tant, també són emissors de diòxid de carboni.

Resumint, per obtenir el component del petroli cru com a font d'energia primària, s'ha procedit de la següent manera:

$$E_{oil\ products} = TPES_{oil\ products} + oil\ refineries_{oil\ products} + transfers_{oil\ products} \quad \text{Eq.2}$$

3.1.2. Metodologia de càlcul de les emissions de CO₂

Les emissions de diòxid de carboni es calcularan per avaluar i projectar escenaris de futur que marquin una tendència a la baixa. Per calcular-les, s'ha agafat els TPES dels elements que emeten aquest gas (petroli, gas natural i carbó). L'IEA ja facilita a la seva pàgina web les emissions de diòxid de carboni de cada país any per any, però s'utilitzarà aquestes per comparar-les amb les que s'obtindran seguint la metodologia que s'està explicant.

Existeixen diverses maneres per calcular les emissions de diòxid de carboni a partir del TPES de cada font d'energia primària. En aquest treball, s'ha procedit d'una manera senzilla, indicada per la UNFCC i que està estipulada als informes de la IPCC^[23]. Aquest procediment consisteix en aplicar al TPES calculat un factor d'emissió diferent per cada una de les fonts primàries incloses en el vector energètic.

S'ha simplificat el càlcul aplicant un factor unitari específic per cada font primària. Es podrien considerar diferents factors dins una mateixa font d'energia primària (el seu origen pot fer variar aquest paràmetre), però s'ha optat per unificar el criteri segons la font. Això pot comportar variacions dels resultats que s'obtindran en comparació amb els indicats per l'IEA, és per això que es procedirà de dues maneres. La primera serà incloent les transferències del petroli i l'altra sense considerar-les, ja que l'IEA utilitza una metodologia diferent a la d'aquest treball. El fet que la mateixa IEA desglossi el petroli de manera diferent al que s'ha fet, provoca que existeixi una certa discrepància, que a vegades es redueix al no influir les transferències de petroli dins la mateixa component. En funció de la discrepància amb les dades d'emissions facilitades per l'IEA, s'escollirà un mètode o l'altre.

Les dades dels TPES de les diferents fonts primàries que proporciona l'IEA es troben en tones equivalents de petroli. Al no ser les més adequades per tal d'aplicar el factor d'emissió per obtenir les emissions de diòxid de carboni, s'ha optat per transformar-les a la unitat energètica del sistema internacional, el Joule, concretament l'EJ, ja que es treballa amb magnituds energètiques molt grans.

Per obtenir les unitats que es volen, s'aplica la següent conversió d'unitat:

$$1 \text{ ktoe} = 0,000041868 \text{ EJ} \quad \text{Eq.3}$$

En les dues metodologies que es plantejaren, s'aplicarà el mateix factor d'emissió unitari per cada font d'energia primària. En la Taula 1, s'exposa els factors d'emissió utilitzats pel càlcul d'emissions resultant:

| Font d'energia primària | Factor d'emissió [kg CO ₂ /MJ] |
|----------------------------|--|
| Carbó | 0,09 |
| Petroli | 0,07 |
| Gas Natural | 0,05 |
| Nuclear | 0 |
| Altres Energies Renovables | 0 |
| Energia Hidroelèctrica | 0 |
| Biocombustibles | 0 |

Taula 1. Factors d'emissions per cada font d'energia primària. (Font: UPC^[18])

Finalment, es calcularà l'aportació d'emissions de diòxid de carboni de cada font d'energia primària de la següent manera (tenint en compte el canvi de potència entre EJ i MJ):

$$\text{Emissions CO}_2 = \text{Factor d'emissió} \cdot \text{TPES} \cdot 1000 \frac{\text{MJ}}{\text{EJ}} \quad \text{Eq.4}$$

3.2. Històric del VE

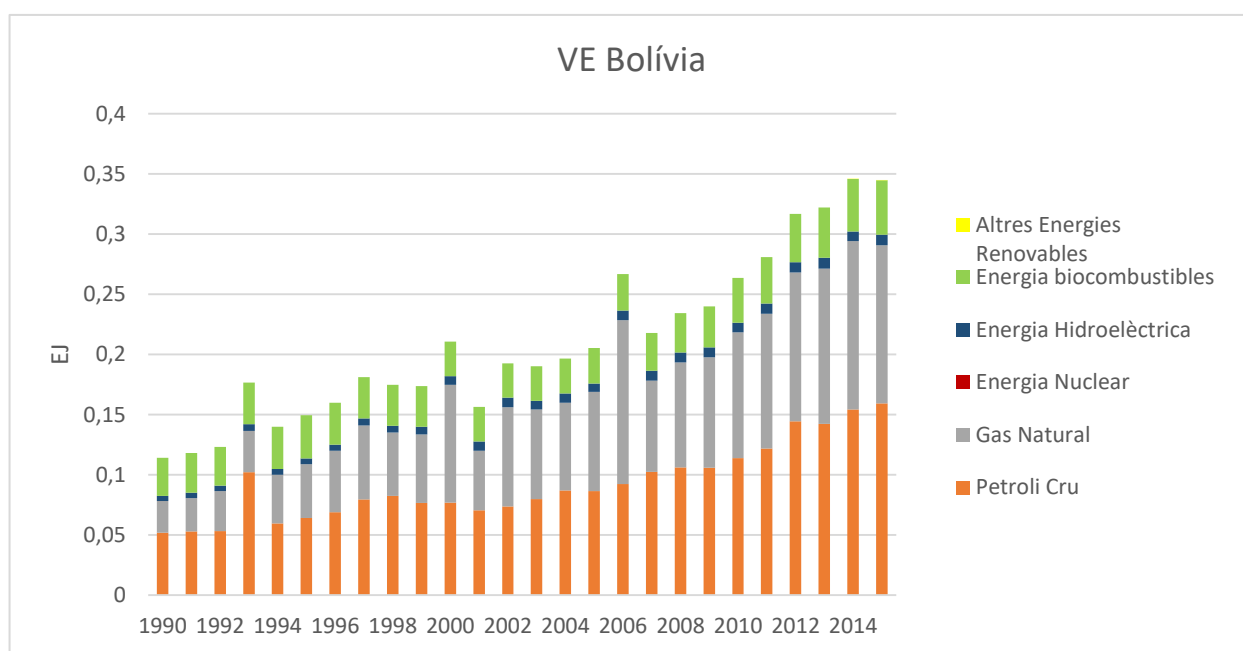
L'històric del vector energètic és de vital importància per aquest treball, ja que a partir d'aquest es calculen les emissions de CO₂ de les components dels combustibles fòssils. Aquestes permeten després (tenint en compte el context de cada país) plantejar escenaris de futur que permetin reduir les emissions d'aquest gas a cada país.

El vector energètic mundial marca un creixement constant al llarg dels últims anys (vegeu l'Annex 1), sense que les components no emissores directament de diòxid de carboni augmentin, sinó que es manté una proporcionalitat entre les fonts primàries emissores i les no emissores. Encara que aquest vector global segueixi aquest patró, cada país té les seves particularitats. En general, els països desenvolupats tenen un consum energètic que augmenta més ràpidament en comparació amb els que es troben en vies de desenvolupament. S'ha de puntualitzar que la crisi econòmica de l'any 2008 va afectar aquest vector i que els Estats van patir un decreixement de consum energètic durant aquells anys que es reflecteix al vector.

L'anàlisi s'ha realitzat entre el interval de temps que va des del 1990 fins a l'any 2015, últim any del qual l'IEA facilita informació a la seva pàgina web oficial sobre les fonts primàries que consumeixen els països. S'ha afegit en aquest anàlisi el vector energètic del món i d'Espanya per poder comparar la rellevància i les tendències dels països objecte d'estudi. Els resultats es poden consultar a l'Annex 1.

3.2.1. VE Bolívia

El vector energètic de Bolívia tendeix a un creixement constant durant els anys que s'han estudiat. Aquest augment no és uniforme i descriu períodes d'anys en els quals hi ha un desenvolupament del consum energètic més pronunciat, sobretot a partir de l'any 2006, amb pics que es donen cada certs anys i una estabilització en els últims dos anys estudiats en aquest treball.

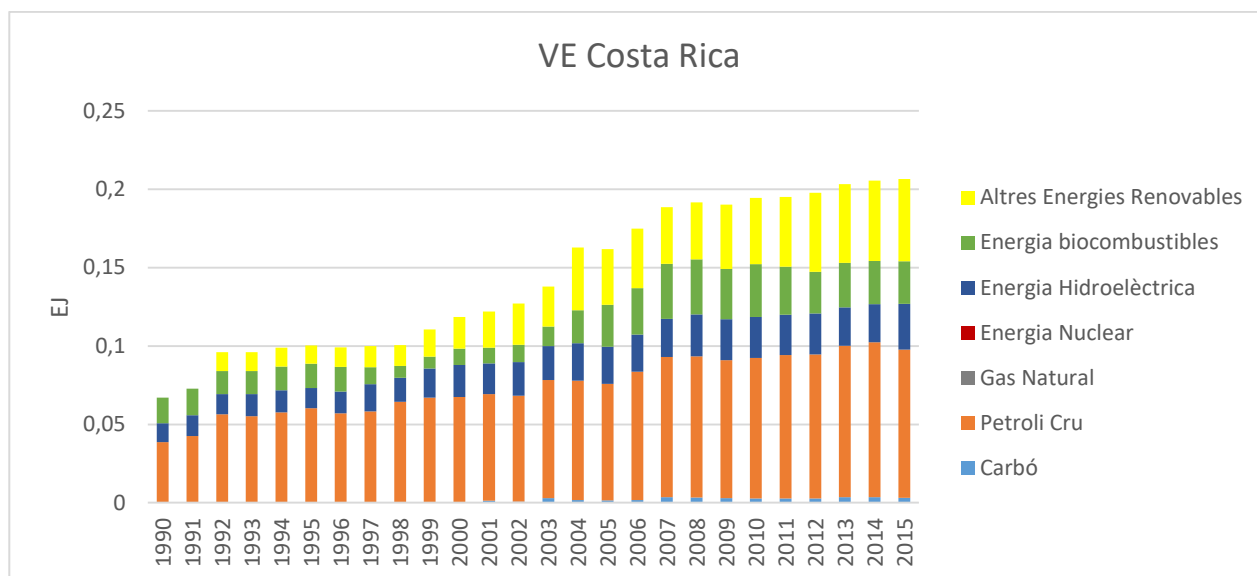


Gràfic 1. Històric del vector energètic de Bolívia. (Font: Pròpia)

Com s'observa al Gràfic 1, les components que conformen el vector energètic del país no han variat significativament, amb una contribució proporcional durant aquest interval d'anys. Els principals components del vector són el gas natural, el petroli i l'energia generada a partir de biocombustibles, amb l'aparició recent d'altres energies renovables, però sent aquesta última molt residual. El petroli cru ha anat reduint la seva contribució en favor del gas natural, on actualment ambdós tenen contribucions molts semblants. Les altres components són menys importants i han mantingut un paper similar dins el vector durant l'interval de temps estudiat.

3.2.2. VE Costa Rica

El vector energètic de Costa Rica marca 3 etapes distingides al llarg dels anys. La primera de totes és la d'un creixement del consum energètic molt estancat fins a l'any 1998, seguit d'una etapa en la qual el vector augmenta més significativament fins a l'any 2007 per després tornar a estabilitzar-se en els darrers anys d'estudi.

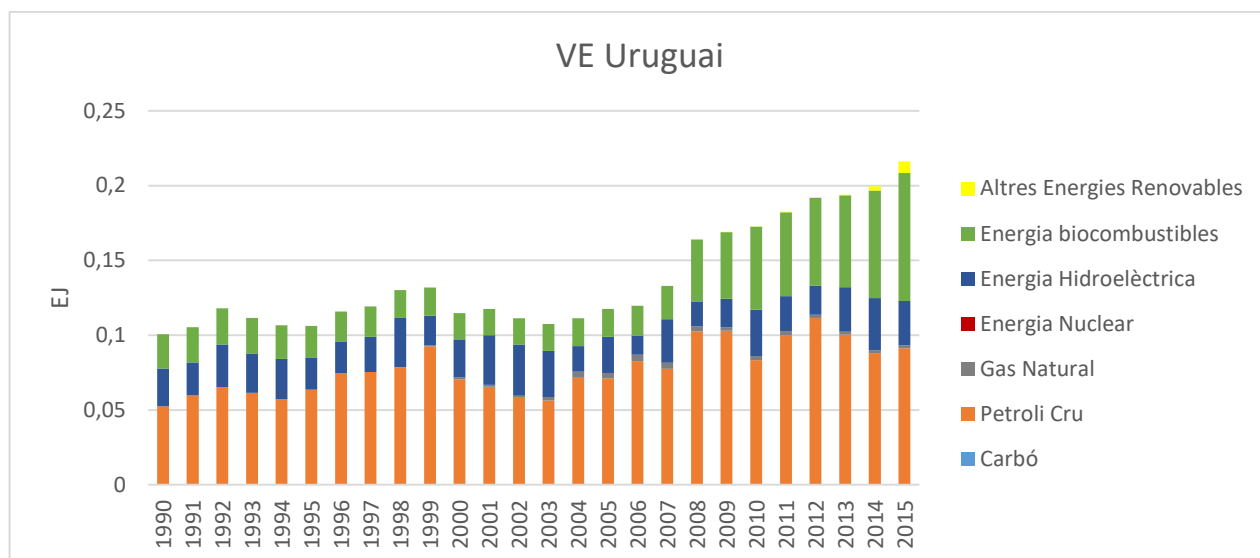


Gràfic 2. Històric del vector energètic de Costa Rica. (Font: Pròpia)

Com es pot observar al Gràfic 2, la principal component d'aquest vector és el petroli. Aquest, a mesura que ha anat augmentant el VE, ha vist disminuir la seva importància en favor de l'aparició de les energies renovables, que s'han acabat convertint en la segona font primària en importància actualment. L'aparició del carbó dins el consum no és una bona notícia, però és gairebé testimonial. L'energia produïda a partir de biocombustibles i la hidroelectricitat han mantingut proporcionalment el mateix rol dins el vector. A partir del 2008, el consum energètic es frena (degut a la crisi mundial) i en general, els països amb poca rellevància econòmica a escala mundial han vist frenat el seu creixement però sabent mitigar aquesta crisi mundial.

3.2.3. VE Uruguai

Uruguai és un país amb un vector energètic poc uniforme durant el període comprès fins a l'any 2007, on es van alternant tendències de creixement i decreixement. A partir del 2007 el vector passa a tenir un augment regular i més aviat lineal fins a l'actualitat.

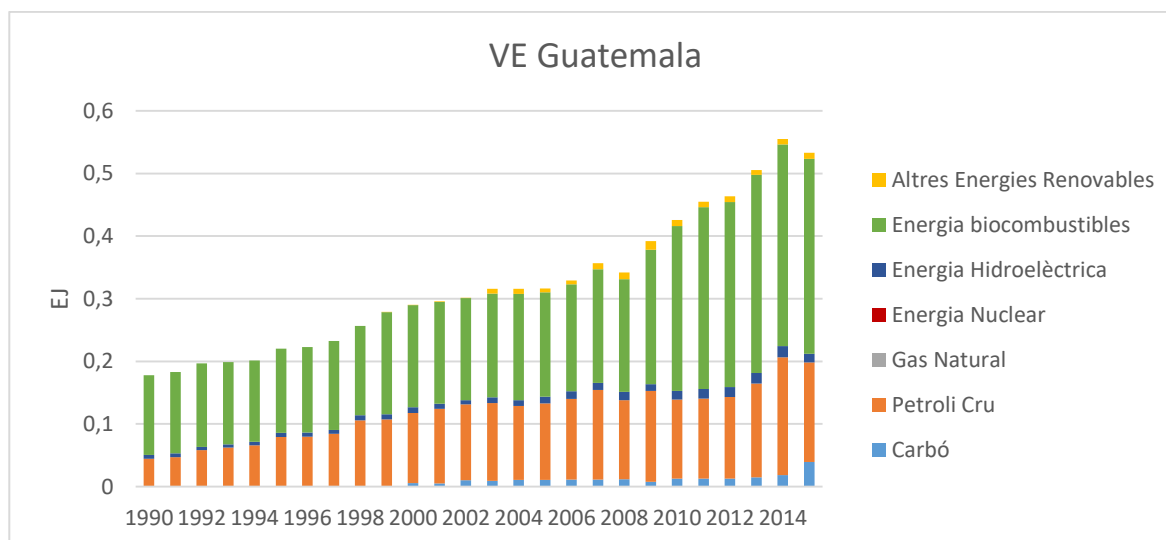


Gràfic 3. Històric del vector energètic d'Uruguai. (Font: Pròpia)

Tal com es pot observar al Gràfic 3, hi ha tres components dins el vector energètic d'Uruguai que són predominants. El petroli és la principal font primària que s'utilitza pel consum energètic en aquest país a escala històrica. Però amb la introducció de fonts dins el vector a partir de l'any 2008, la seva importància ha anat reduint-se. L'energia produïda a partir de biocombustibles és actualment la segona font per ordre d'importància i ha anat consolidant-se en el vector al mateix temps que el petroli ha anat perdent la seva contribució. L'energia hidroelèctrica sempre ha mantingut una rellevància similar al llarg dels anys que s'han estudiat, sent la tercera força més significant en el VE d'Uruguai. Finalment, el gas natural ha aparegut de manera gairebé testimonial en els darrers anys. Així, el gas natural juntament amb les altres energies renovables pràcticament no tenen notorietat en el VE.

3.2.4. VE Guatemala

L'històric del vector energètic de Guatemala marca un creixement constant i gairebé lineal que s'accentua a partir de l'any 2009. Aquest canvi contraposa la tendència que es podria intuir arran de la crisi mundial que va arrancar l'any 2008, seguint un patró descendent durant el període d'inestabilitat econòmica.

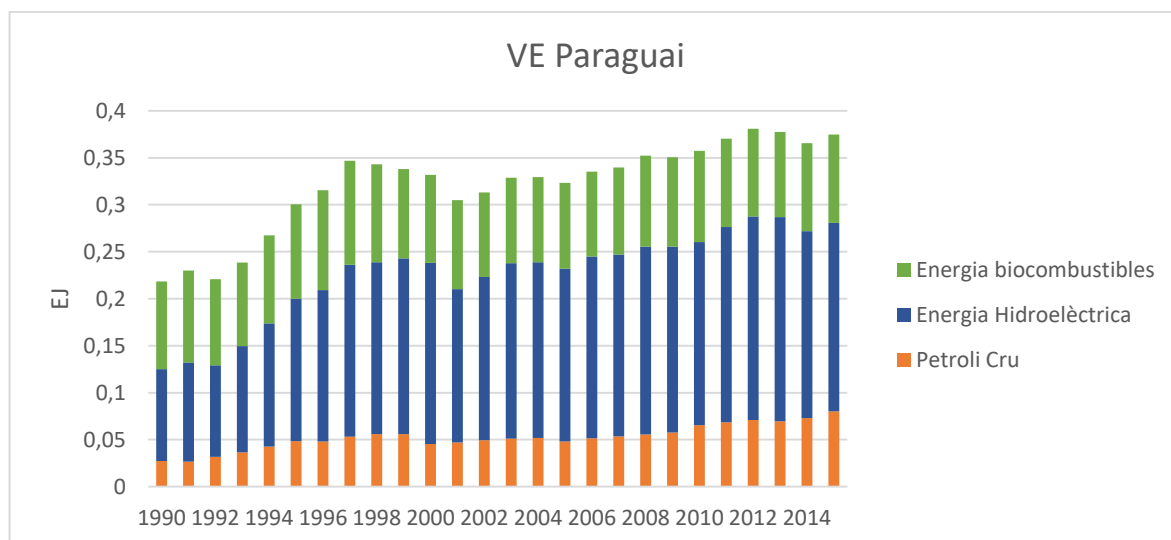


Gràfic 4. Històric del vector energètic de Guatemala. (Font: Pròpia)

Les dues principals components del vector són el petroli i l'energia produïda a partir de biocombustibles, sent el segon d'aquests l'agent més important dins la suma del total. La proporcionalitat d'aquestes dues fonts primàries dins el VE s'ha mantingut més o menys estable al llarg de l'interval d'anys estudiats. Les altres energies renovables s'han introduït de manera poc significativa dins el consum del país a partir de l'any 2000, mantenint aquesta proporcionalitat fins a l'actualitat. Testimonial és la importància que tenen tant el carbó com l'energia hidroelèctrica, amb la diferència que el primer es va introduir al mateix temps que les altres energies renovables mentre que la segona sempre ha estat present dins el vector en l'interval estudiat (amb canvis poc significatius). Destaca el fet que les fonts primàries no emissores de diòxid de carboni sempre han sigut majoritàries dins el consum energètic del país, trencant amb la tendència mundial.

3.2.5. VE Paraguai

El vector energètic de Paraguai, en termes generals, ha mantingut un creixement constant i lent, marcat per intervals curts de temps on el vector s'ha estancat o ha disminuït de manera puntual i poc significativa.

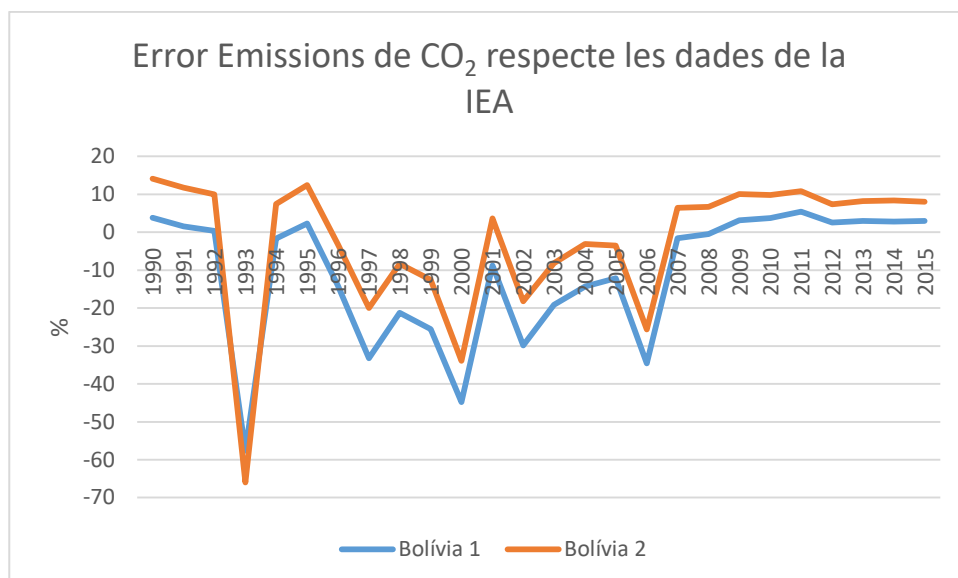


Gràfic 5. Històric del vector energètic de Paraguai. (Font: Pròpia)

Les components que conformen l'energia primària total d'aquest país són tres: l'energia extreta de la crema de biocombustibles, l'energia hidroelèctrica i el petroli. Aquestes, han mantingut la seva rellevància, dins la suma total d'energia primàries, constant i seguint amb el creixement progressiu del VE. L'energia hidroelèctrica sí que ha guanyat terreny en favor de la produïda a partir dels biocombustibles però en línies generals no d'una manera destacable. Tal com es comenta sobre Guatemala, aquest país consumeix principalment energies primàries no emissores de diòxid de carboni, arribant a ser molt més majoritària aquesta part que la de l'única font emissora: el petroli. En conseqüència, aquest país tindrà menys dificultats per dur a terme una transició energètica total encaminada al consum exclusiu d'energia primària no contaminant.

3.3. Històric d'emissions de CO₂

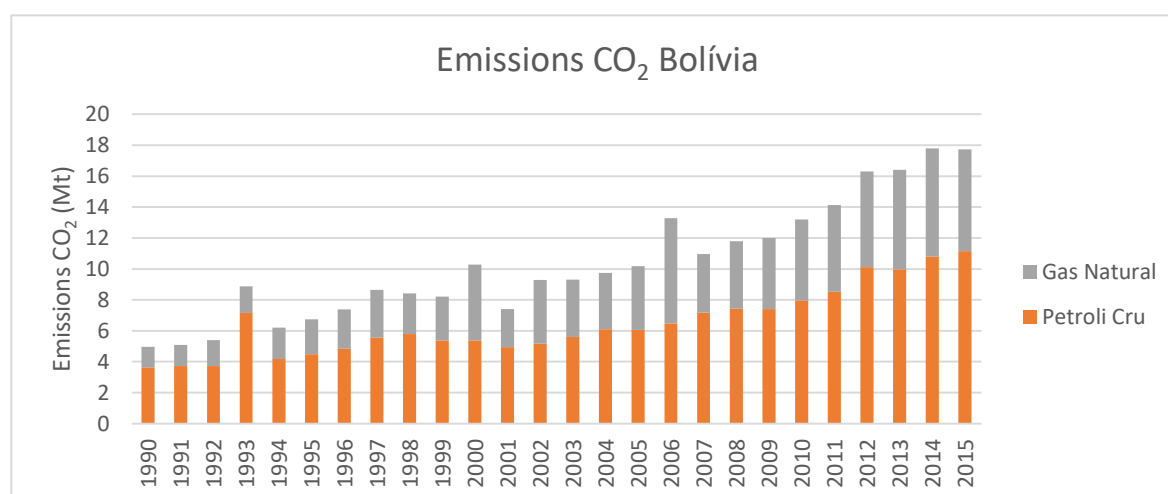
Per calcular les emissions de CO₂, com s'ha comentat anteriorment en l'apartat 3.1.2, s'han utilitzat dues maneres per obtenir les emissions d'aquest gas a partir de les components que conformen el vector energètic. En aplicar una manera o l'altra s'han trobat discrepàncies amb les dades recollides de l'IEA però es considera que l'error és menyspreable a condició que sigui inferior a un 20%. En comparar les dures metodologies, només en el cas de les emissions de Bolívia l'error en alguns casos era superior a aquest màxim considerat.



Gràfic 6. Error de les emissions de CO₂ obtingudes en comparació amb les dades de la IEA per Bolívia. (Font: Pròpia)

Com es pot veure el Gràfic 6, cap de les dues metodologies entra dins el marge d'error inferior al 20% i per tant, per tal de facilitar els càlculs posteriors que es realitzaran en aquest treball, s'ha optat per la primera opció (Bolívia 1 al Gràfic 6), ja que només presenta aquest error per aquest país. És possible que més endavant això comporti certes diferències sobre els resultats que s'exposin i s'haurà de tenir en compte aquest error a l'hora de formular les consideracions finals i la fiabilitat d'aquests resultats. Aquest error ve donat principalment pels factors escollits per calcular les emissions, ja que s'ha tractat de manera unitària el factor de cada component mentre que l'IEA tracta de manera diferent certs components del carbó, per exemple.

3.3.1. Emissions de CO₂ de Bolívia

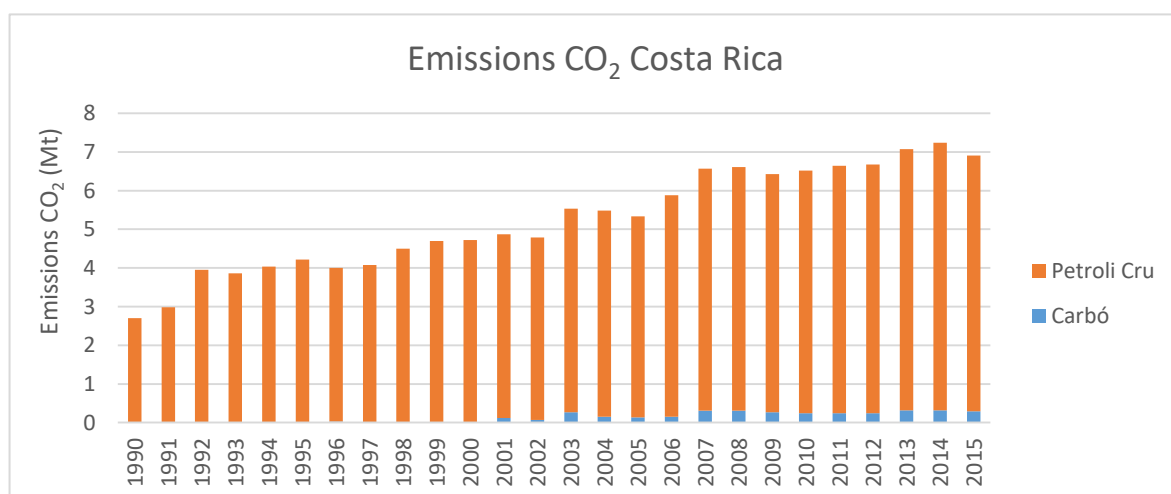


Gràfic 7. Emissions de CO₂ obtingudes per Bolívia. (Font: Pròpia)

Les emissions de diòxid de carboni de Bolívia, amb la metodologia escollida, descriuen la mateixa tendència que el seu vector energètic. És un dels dos països, conjuntament amb Costa Rica, que consumeixen majoritàriament energia primària a partir de fonts emissores de diòxid de CO₂ i que per tant, per tal de mitigar aquestes hauran de fer esforços considerables per arribar a aquest objectiu i no dependre de combustibles fòssils. L'evolució històrica de les emissions descriu un creixement constant del consum d'aquestes fonts primàries emissores i on la proporcionalitat dins el total es manté fins aquests últims anys on el gas natural ha anat augmentant la seva partida en detriment del petroli.

El Gràfic 7 ens mostra una clara dependència del petroli en el país, que prové sobretot del transport, el sector energètic i la indústria (com ja s'ha analitzat en el context territorial en l'apartat 2.5.2). El gas natural és l'altra font que també està present en el gràfic d'emissions del país, tenint un augment significatiu en els últims anys. Aquest recurs es produeix en gran quantitat i s'utilitza per produir electricitat alhora que exporta l'excedent que no es consumeix.

3.3.2. Emissions de CO₂ de Costa Rica



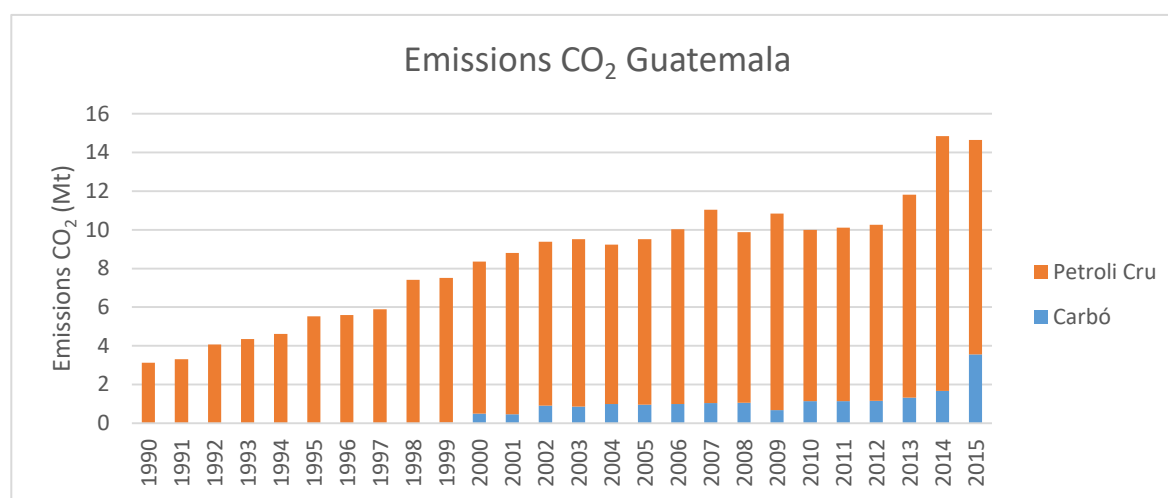
Gràfic 8. Emissions de CO₂ obtingudes per Costa Rica. (Font: Pròpia)

L'històric corresponent a les emissions de diòxid de carboni de Costa Rica indica un augment irregular al llarg dels anys del volum d'emissions. Té períodes on s'estanca uns anys per després continuar augmentant, sempre amb un pendent poc pronunciat. Tal com es comenta pel cas de Bolívia, aquest país també consumeix principalment energies primàries que emeten CO₂ per satisfer les seves necessitats energètiques.

La principal font emissora, com indica el Gràfic 8, és el petroli, sent també és la principal font primària d'energia que es consumeix al país. El carbó va aparèixer l'any 2001 i és la segona font emissora de diòxid de carboni, però té un paper molt menys rellevant.

3.3.3. Emissions de CO₂ de Guatemala

Les emissions de CO₂ de Guatemala han anat creixent de la mateixa manera que el seu vector energètic. Però, les fonts responsables d'aquestes emissions són les minoritàries dins el vector energètic. L'augment d'aquestes emissions ha sigut progressiu i lineal, amb suavitzacions durant intervals d'anys per acabar en una pujada considerable l'any 2014.

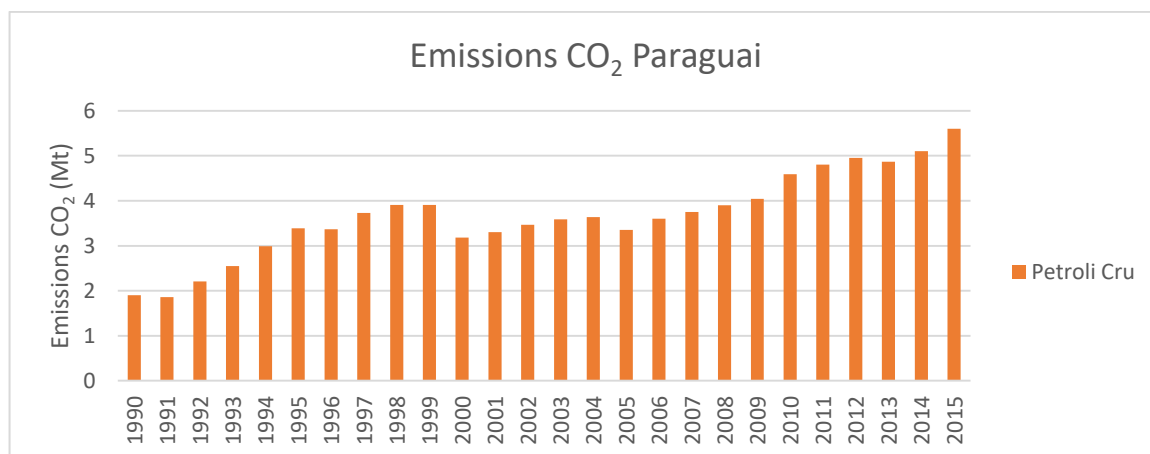


Gràfic 9. Emissions de CO₂ obtingudes per Guatemala. (Font: Pròpia)

En el Gràfic 9 es mostra la predominança del petroli dins les emissions de diòxid de carboni causades pel consum d'energia primària del país. El carbó comença a consumir-se a partir de l'any 2000, agafant poca rellevància dins el total de les emissions però mantenint la seva presència fins a l'actualitat (augmentant l'any 2015 la seva contribució dins el vector).

3.3.4. Emissions de CO₂ de Paraguai

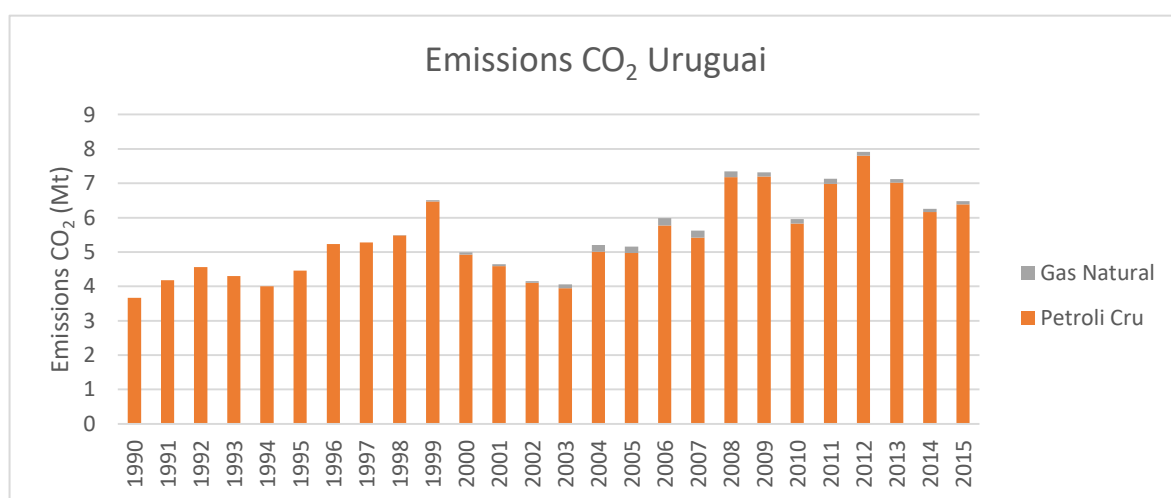
Paraguai té un històric d'emissions de CO₂ que indica un creixement progressiu del volum de diòxid de carboni alliberat pel país. Es passa de 2 Mt de CO₂ a 5 Mt CO₂ en el interval de temps que s'estudia, amb augments progressius en certs períodes de temps però que són de diferents magnituds al llarg dels anys.



Gràfic 10. Emissions de CO₂ obtingudes per Paraguai. (Font: Pròpia)

Tal com es mostra al Gràfic 10, el petroli és l'única font responsable de les emissions de diòxid de carboni pel que fa a l'energia primària total consumida a Paraguai. Tenint en compte que aquesta font energètica no és majoritària en el vector energètic, Paraguai hauria de ser un dels països amb més facilitats per mitigar les emissions d'aquest gas (sense tenir en compte factors econòmics o tecnològics).

3.3.5. Emissions de CO₂ d'Uruguai



Gràfic 11. Emissions de CO₂ obtingudes per Uruguai. (Font: Pròpia)

Per últim, Uruguai té un històric d'emissions caracteritzat per tenir tant creixements com decreixements durant períodes de temps al llarg dels anys. Malgrat això, els creixements han sigut més pronunciats i ha passat de produir gairebé 4 Mt de CO₂ a 6 Mt de CO₂, sent un augment poc considerable comparat amb altres països com Bolívia (però acaba suposant un creixement). Tal com es pot observar en el Gràfic 11, el petroli és el clar predominant dins aquestes emissions amb la presència gairebé testimonial del gas natural en l'últim període de temps.



4. Escenaris BAU

Els escenaris *Business as usual* (BAU) són projeccions de futur que es realitzen en funció d'una variable que intenta ajustar la tendència històrica fins a l'actualitat per predir un escenari hipotètic amb una evolució la més probable possible. L'objectiu principal és per tant, ajustar el comportament que fins ara ha tingut una variable i predir el seu futur desenvolupament si no s'hi aplica cap canvi.

4.1. Escenari BAU del vector energètic

En el cas d'aquest treball, es pretén analitzar la tendència del vector energètic de cada país i projectar un escenari de futur sobre com evolucionarà aquest vector de manera més versemblant. L'evolució del vector energètic vindrà determinada en funció de les seves dades històriques. La metodologia que s'utilitza amb els diferents components també parteix des de la suposició d'una projecció que vindrà determinada per la seva evolució històrica. En altres paraules, la seva contribució en el futur està determinada per la tendència passada i aplicada a escala percentual sobre el total del vector energètic.

La variable que s'utilitza és la taxa de variació interanual, a partir de la qual s'obté una mitjana aritmètica i que s'aplica al total de la suma dels TPES dels components. La metodologia ve determinada per la següent expressió:

$$\bar{r}_t(\%) = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{X_t - X_{t-1}}{X_{t-1}}}{T} \cdot 100 \quad \text{Eq.5}$$

On:

\bar{r}_t : taxa de variació que s'utilitza per tal de projectar l'evolució del vector energètic

X_t : suma total del el TPE dels components que formen el vector energètic en el temps t

T: suma total dels anys que determinen la taxa de variació

Per tal de poder obtenir un escenari de futur el més pròxim a la realitat, s'ha avaluat dos tipus de taxa de variació. Per la primera és té en compte la totalitat de l'històric del vector energètic des de l'any 1990 fins a l'any 2015 (últim any el qual s'ha recollit les dades sobre els TPES de les fonts d'energia primàries). L'altra opció només té en compte un període de temps representatiu on els països estudiats marquen una tendència històrica evolutiva regular i més homogènia. L'interval de temps escollit per calcular aquesta segona taxa ha sigut des del 2008 fins el 2015. Per tal de calcular l'evolució del vector energètic de cada país s'ha aplicat les dues taxes de variació a la suma total dels TPES de cada component de l'històric del vector energètic de la següent manera:

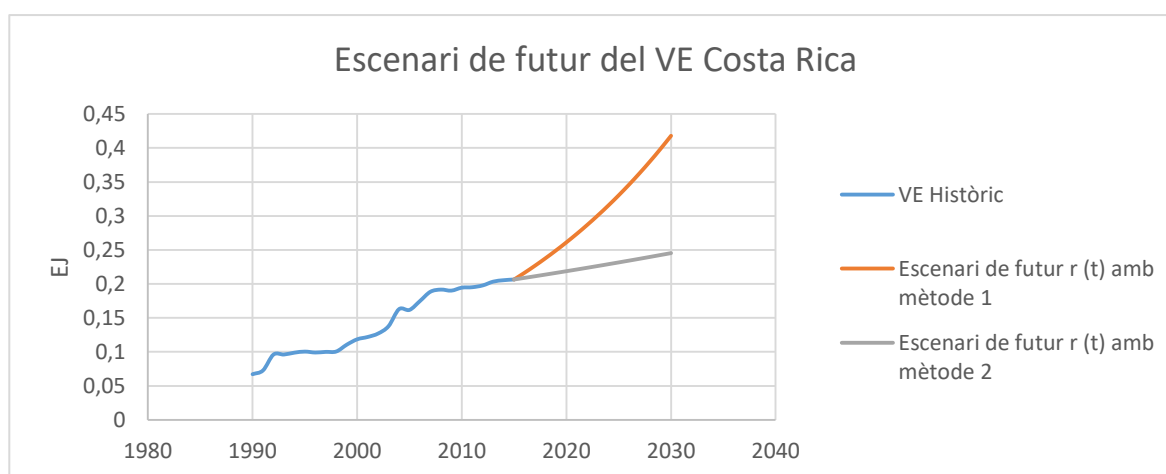
$$\hat{E}_t = \hat{E}_{t-1} \cdot \left(1 + \frac{\bar{r}_t(\%)}{100}\right) \quad \text{Eq.6}$$

On:

\hat{E}_t és el pronòstic de la suma dels TPEs dels components en el temps t

\bar{r}_t és la mitjana aritmètica de les taxes de variació interanuals calculades

En funció dels resultats que s'han obtingut, s'ha escollit la taxa de variació que més s'ajusta a un escenari BAU projectat fins a l'any 2030.



Gràfic 12. Escenaris de futur del VE per Costa Rica amb els dos tipus de taxa de variació. (Font: Pròpia)

Com es pot observar en el Gràfic 12, el mètode de càlcul per obtenir la taxa de variació i projectar l'escenari de futur BAU que més s'ajusta a una evolució versemblant és el segon mètode. El mètode 1 utilitzat per calcular el VE de Costa Rica sembla massa ambiciós en relació amb la futura evolució que tindrà el país. El problema al considerar un ampli interval d'anys, és que es pot obtenir projeccions condicionades per un context històric que ja no és rellevant i per això s'ha considerat més indicat utilitzar el segon mètode de càlcul. La primera taxa de variació recollia un històric d'anys en els quals el vector havia evolucionat de manera molt diferent. Per tant, no es corresponia a un escenari BAU que intenta descriure una projecció de futur basada en la tendència històrica del vector i els seus components la més versemblant possible.

Un cop s'obté la suma del total dels TPES dels components del vector, s'ha de calcular l'aportació de cadascun dels components dins aquest total. Per tal d'obtenir-ho, s'ha procedit a calcular les taxes de variació individuals de cada component amb regressions lineals. A partir d'aquestes regressions, s'ha obtingut la contribució percentual de cadascun dels components sobre la suma total calculada

prèviament per cada any. Seguidament, s'aplica aquest percentatge a l'escenari BAU del vector energètic de la manera següent:

$$\% \text{ contribució de la font}_t = \frac{TPE'_{i,t}}{TPEs_t} \cdot 100 \quad \text{Eq.7}$$

$$TPE_{i,t} = \frac{\% \text{ contribució de la font}}{100} \cdot \hat{E}_t \quad \text{Eq.8}$$

On:

% contribució de la font: percentatge contributiu que correspon a cada font primària sobre el total en el temps t

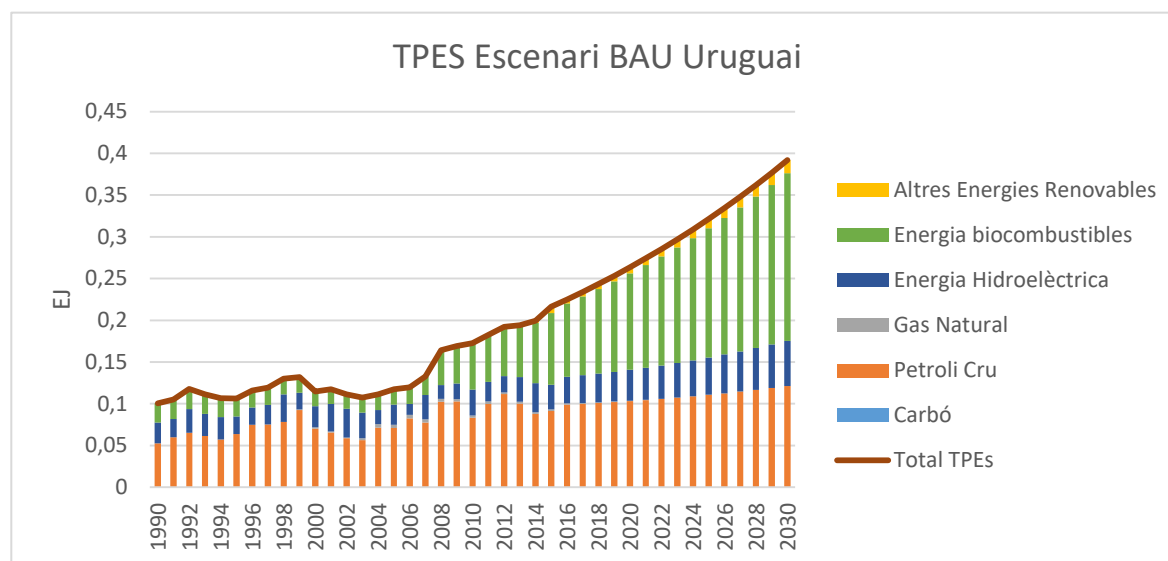
TPE'_{i,t}: TPE d'una font primària i, calculat a partir de la seva taxa de variació en el temps t

TPE_{s,t}: suma total de les projeccions de futur de cada font calculades a partir de les seves respectives taxes de variació en el temps t

\hat{E}_t : projecció de futur escenari BAU del vector energètic en el temps t

A continuació s'exposen els resultats dels escenaris BAU del vector energètic de cada país que s'han obtingut procedint amb la metodologia descrita anteriorment. Els càlculs i resultats del procediment utilitzats per obtenir aquests escenaris es poden consultar a l'Annex 2.

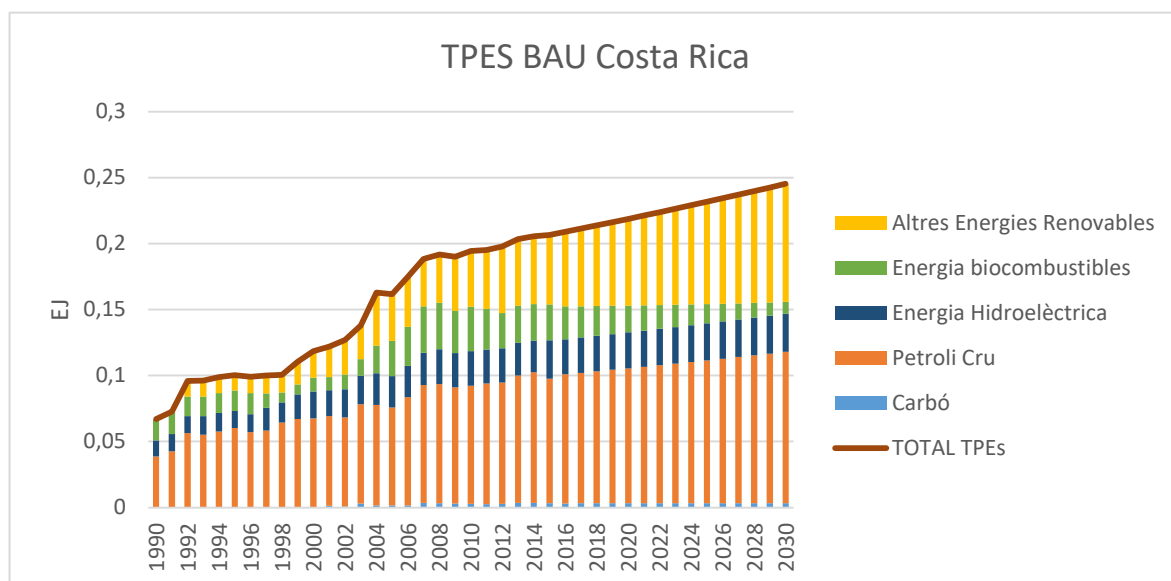
4.1.1. VE Escenari BAU d'Uruguai



Gràfic 13. Escenari BAU del VE per Uruguai. (Font: Pròpia)

L'escenari BAU corresponent a Uruguai descriu un vector energètic amb un fort augment del consum, gairebé de manera exponencial, seguint la tendència dels últims anys de l'històric que s'ha obtingut anteriorment. La font d'energia primària que experimenta l'augment més significatiu és l'energia obtinguda a partir dels biocombustibles, convertint-se en la primera font de consum del país en l'escenari de futur (superant el petroli com la més important). Els creixements en l'escenari BAU de l'energia hidroelèctrica i el petroli són més pausats i menys pronunciats de manera que s'esdevenen els dos components més importants dins el vector després de l'energia dels biocombustibles. La resta de components no tenen quasi rellevància dins l'escenari, ja que no augmenten gairebé la seva aportació dins el vector, tret de l'aparició d'altres energies renovables com a alternativa, sent encara de moment una aportació reduïda.

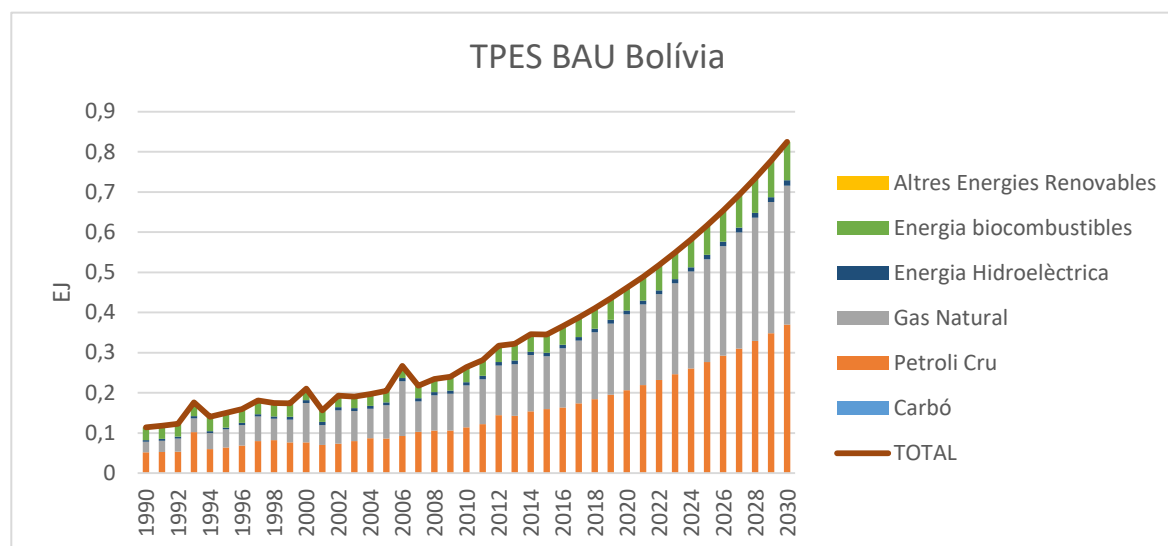
4.1.2. VE Escenari BAU de Costa Rica



Gràfic 14. Escenari BAU del VE de Costa Rica. (Font: Pròpia)

L'escenari de futur BAU de Costa Rica que s'obté mostra un creixement més pausat i acord amb la tendència dels últims anys del vector. L'augment és aproximadament lineal durant el període 2015-2030 i passa d'una suma total de l'energia primària consumida d'aproximadament 0,2 EJ a un total una mica més inferior a 0,25 EJ. Els canvis més rellevants que revela aquesta projecció són la disminució de l'aportació de l'energia produïda a partir dels biocombustibles en favor d'altres energies renovables. La primera d'aquestes passa a tenir una aportació molt petita mentre que l'altra, les altres energies renovables, passa a convertir-se en la segona per ordre d'importància dins el vector. El petroli segueix sent la principal font de consum i té una evolució més aviat lineal en l'escenari calculat, de la mateixa manera que l'energia hidroelèctrica manté el mateix percentatge dins el vector. L'últim component que es suma a l'energia primària total és el carbó. Té un paper poc rellevant dins el vector però manté la seva presència amb una importància més aviat testimonial.

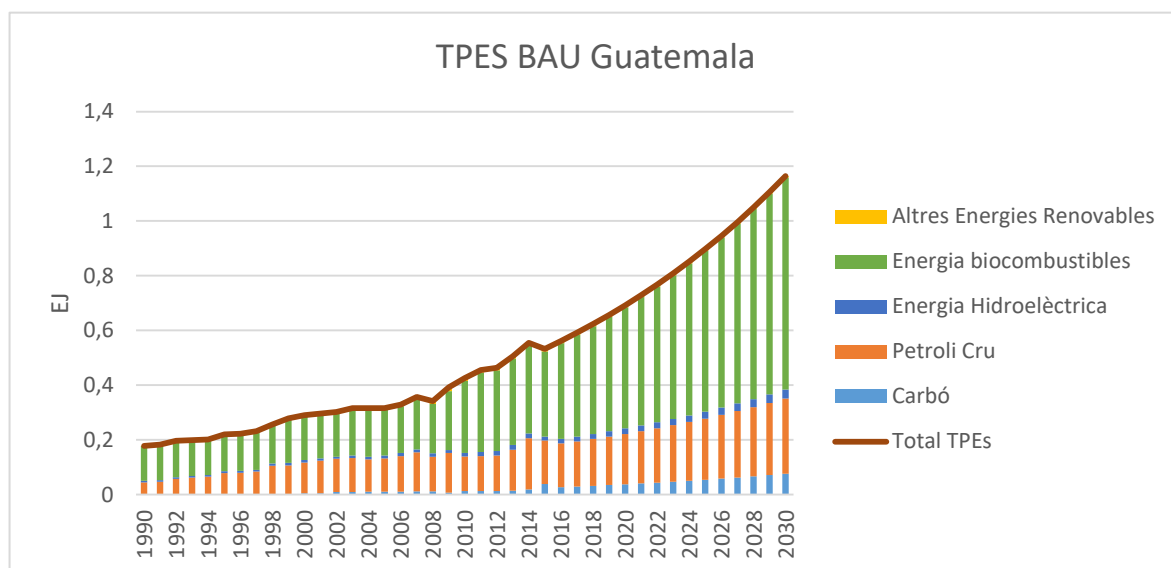
4.1.3. VE Escenari BAU de Bolívia



Gràfic 15. Escenari BAU del VE de Bolívia. (Font: Pròpia)

La projecció de futur BAU que s'obté per Bolívia indica un augment de la seva suma total d'energia primària, descrivint una corba que s'aproxima a una exponencial. És una tendència que s'ha anat donant històricament i per tant sembla lògic que aquesta dinàmica segueixi fins al 2030 si no hi ha canvis importants dins el consum del país. L'aparició d'altres energies renovables és gairebé insignificant (en l'Annex 2 de càlculs i resultats del BAU de Bolívia es pot observar però no en el Gràfic 15). Els components més rellevants que conformen el vector energètic segueixen sent el petroli i el gas natural. Tots dos evolucionen dins l'escenari de futur de manera similar, amb un augment proporcional a la trajectòria del vector energètic. Tant l'energia de biocombustibles com la hidroelèctrica també mantenen la mateixa contribució percentual dins el vector. Les fonts emissores evolucionen amb un creixement significatiu mentre que les no emissores gairebé no pateixen canvis, mantenint la proporció dominant de les fonts de combustibles fòssils sobre les altres.

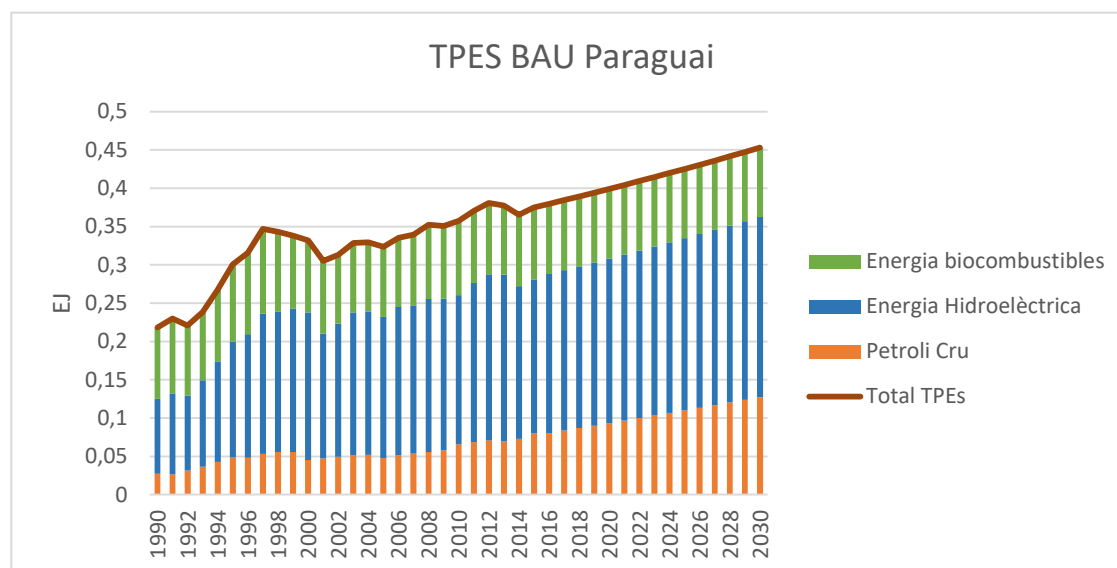
4.1.4. VE Escenari BAU de Guatemala



Gràfic 16. Escenari BAU del VE de Guatemala. (Font: Pròpia)

L'escenari de futur BAU de Guatemala indica un augment del consum de les fonts primàries energètiques considerable, el més important si es compara amb els altres països que són objecte d'estudi (l'evolució indica que es passa d'un total d'aproximadament 0,5 EJ fins a gairebé 1,2 EJ, sumant totes les components). Seguint l'evolució de la suma total de les fonts, l'energia que s'aconsegueix a partir dels biocombustibles és la que més augmenta dins el vector, arribant a aglomerar més de la meitat del consum total. El carbó és el que creix de forma més destacable després dels biocombustibles, tot i que segueix sent un component amb una rellevància relativament petita en comparació amb altres components. Tant el petroli com l'energia hidroelèctrica augmenten també però de manera molt menys pronunciada i més lineal que la suma total del consum i per tant la seva rellevància ha disminuït en favor dels biocombustibles. La diferència és que el petroli segueix sent un actor important dins aquest vector i l'energia hidroelèctrica molt més secundària (com s'ha anat donant històricament). La proporció de fonts no emissores és la predominant dins el vector, trencant amb la tendència mundial general però gràcies exclusivament a una única font energètica: la biomassa.

4.1.5. VE Escenari BAU de Paraguai



Gràfic 17. Escenari BAU del VE de Paraguai. (Font: Pròpia)

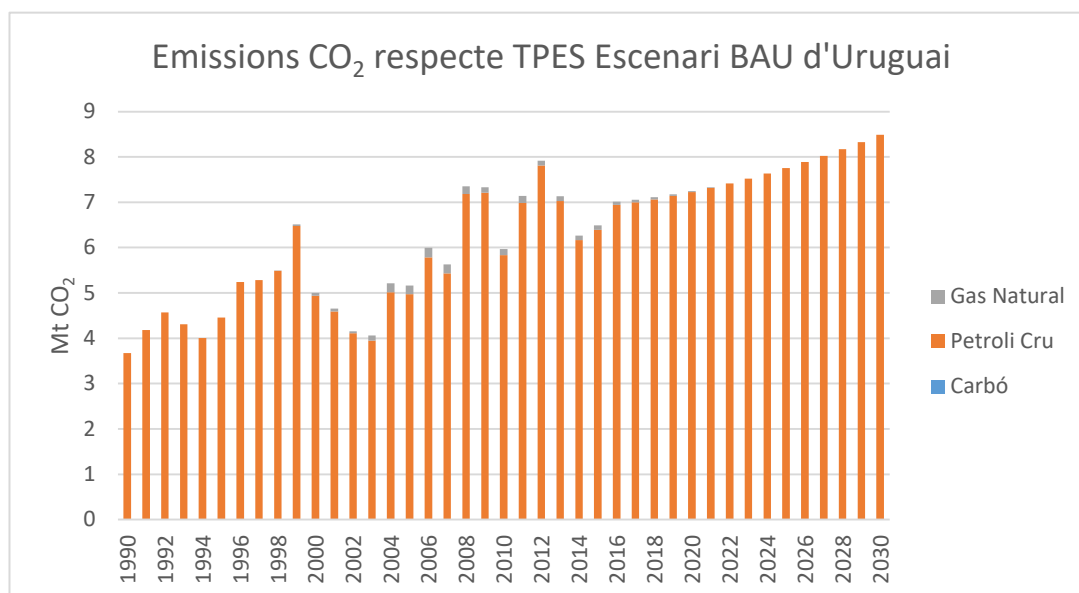
L'escenari de futur BAU corresponent a Paraguai indica una tendència de creixement lineal, sent el seu pendent poc pronunciat es compara amb altres casos analitzats anteriorment. Aquesta pujada és el resultat de creixement més o menys estable que ha tingut el vector, molt diferent en els darrers anys si es compara amb els anys inicials. El vector energètic al principi creixia de manera molt més important, tenint una davallada puntual durant uns anys per després estabilitzar el seu creixement. Els components segueixen una dinàmica similar a la suma total del vector, creixen linealment les 3 fonts que defineixen la totalitat de l'energia primària del país (el petroli, l'energia hidroelèctrica i l'energia obtinguda a partir de biocombustibles). Per tant, no varien la seva composició dins el vector i mantenen la seva contribució individual dins l'absolut del consum el territori.

4.2. Emissions de CO₂ de l'escenari BAU

Per tal d'aplicar una projecció de futur de les emissions de CO₂ de cada país s'ha procedit de la mateixa manera que la utilitzada per obtenir l'històric d'emissions de diòxid de carboni. S'ha utilitzat l'Eq.4 i aplicada a la contribució de cada font considerada en el vector al llarg de l'escenari de futur. Els factors d'emissió considerats són els mateixos que els utilitzats en l'històric dels VE i estan estipulats en la Taula 1.

A continuació s'exposen les emissions de diòxid de carboni calculades per cada país en els seus corresponents escenaris BAU. Els càlculs i resultats obtinguts es poden consultar en l'Annex 2.

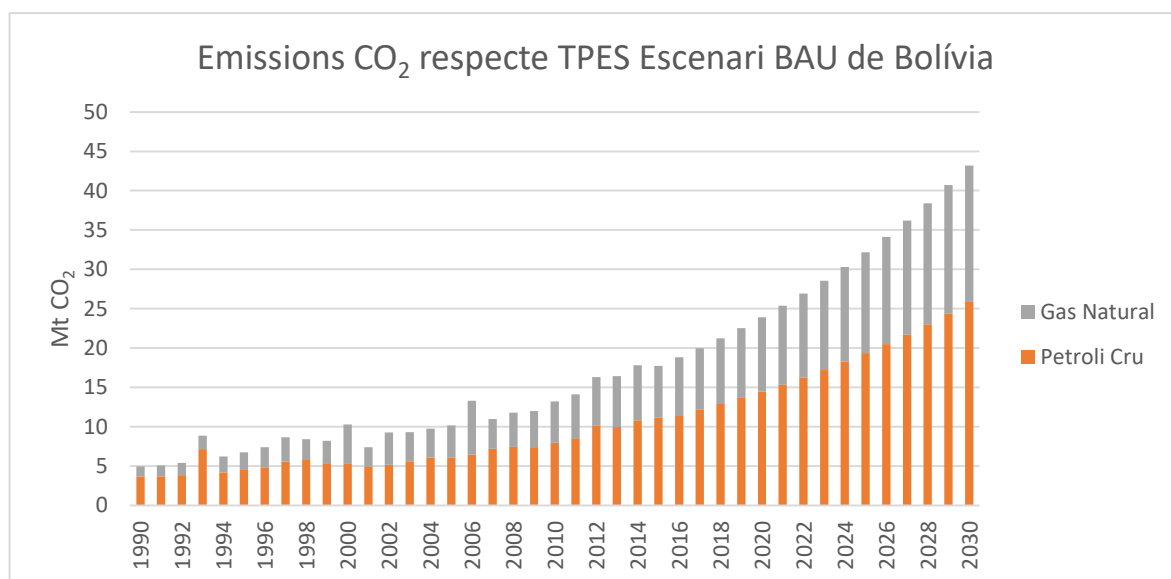
4.2.1. Emissions de CO₂ Escenari BAU d'Uruguai



Gràfic 18. Emissions de CO₂ obtingudes a partir de l'escenari BAU d'Uruguai. (Font: Pròpia)

Les emissions de diòxid de carboni associades a l'escenari BAU d'Uruguai augmenten progressivament de manera exponencial i a un ritme poc pronunciat. El petroli és el gran causant de les emissions d'aquest país i per tant es perfila com un dels combustibles fòssil el qual s'haurà de reduir dràsticament el seu consum per mitigar les emissions d'aquest país. Les altres fonts emissores gairebé no tenen rellevància i per tant són menys prioritàries, ja que tendeixen a la desaparició d'elles mateixes dins el mateix escenari.

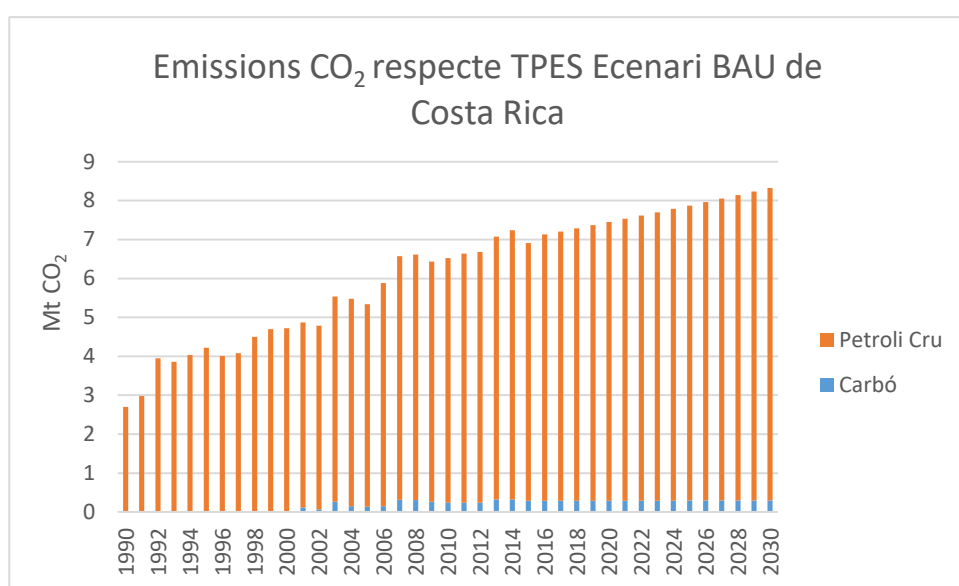
4.2.2. Emissions de CO₂ Escenari BAU de Bolívia



Gràfic 19. Emissions de CO₂ obtingudes a partir de l'escenari BAU de Bolívia. (Font: Pròpia)

De la mateixa manera que s'indicava per Uruguai, les emissions de CO₂ de Bolívia en l'escenari de futur plantejat augmenten considerablement, descrivint una corba també exponencial però en aquest cas molt més pronunciada. El petroli segueix sent l'agent més emissor dins aquest total, però el gas natural agafa, segons aquest escenari, un paper més important, contribuint en el creixement de les emissions del país. És el país que projecta un escenari en el qual les emissions de diòxid de carboni creixen més (en comparació amb els altres països estudiats) i també el que més emet. En aquest cas, sembla més adient projectar polítiques de futur sobre les dues fonts, ja que ambdues tenen una tendència a l'augment del seu consum i tenen aportacions significatives.

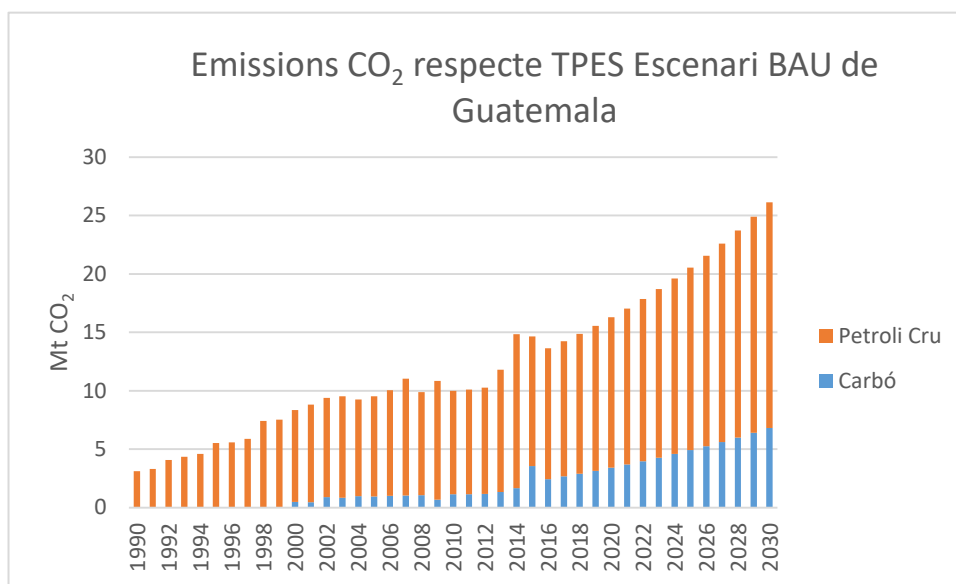
4.2.3. Emissions de CO₂ Escenari BAU de Costa Rica



Gràfic 20. Emissions de CO₂ obtingudes a partir de l'escenari BAU de Costa Rica. (Font: Pròpia)

Les emissions de CO₂ respecte a l'escenari BAU de Costa Rica augmenten linealment, sent el petroli la principal causa. Aquesta font primària energètica és l'única que augmenta la seva contribució segons els resultats de la projecció de futur que s'ha calculat. El carbó per la seva banda es quedaria en els valors que té en l'actualitat, amb un creixement gairebé residual. Analitzant l'augment global de les emissions, aquest no és molt significatiu si es compara amb països com Bolívia per exemple, sent a sobre un país amb un paper poc rellevant dins les emissions mundials. Si es volgués frenar aquesta progressió ascendent, s'hauria d'establir polítiques de canvi climàtic enfocades a reduir el principal responsable de les emissions de diòxid de carboni d'aquest país: el petroli. Però, països d'aquestes característiques són el clar exemple que mostra que ha d'existir algun acord entre els països promovent el que s'explicava a l'apartat d'Introducció sobre una certa Justícia Climàtica en vers països en vies de desenvolupament.

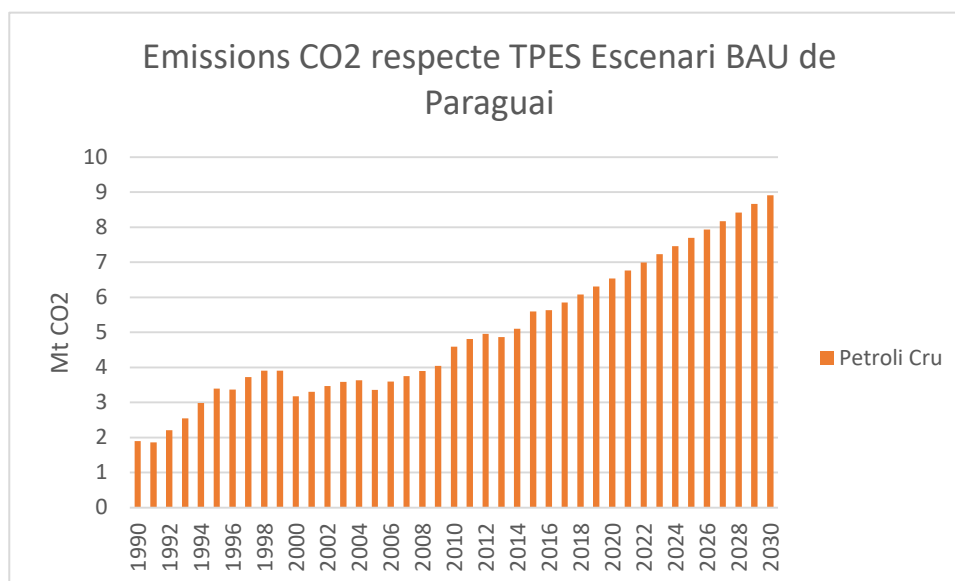
4.2.4. Emissions de CO₂ Escenari BAU de Guatemala



Gràfic 21. Emissions de CO₂ obtingudes a partir de l'escenari BAU de Guatemala. (Font: Pròpia)

En relació al creixement d'emissions de diòxid de carboni de Guatemala que es mostra al Gràfic 21, es podria definir com un creixement més aviat exponencial amb una diferència entre el 2015 i el 2030 considerable. Després de Bolívia, és el segon país que preveu l'augment més important d'emissions de tots els casos que s'estudien en aquest treball. El petroli torna a ser el principal responsable de l'alliberament d'aquest gas a l'atmosfera. Però, segons aquest escenari, el carbó adquireix un paper rellevant dins aquestes emissions i el seu creixement lineal el portaria a ser més significatiu. En termes de valors, el volum d'emissions que generaria Guatemala s'aproparia al perfil de Bolívia, amb la diferència que aquest últim té com a segon agent més contaminador el gas natural (menys emissor de CO₂) mentre que el primer té el carbó. Per tant, i donat que els dos components emissors del vector energètic d'aquest país alliberen quantitats importants d'aquest gas, els esforços haurien d'estar dirigits a mitigar ambdós volums d'emissions.

4.2.5. Emissions de CO₂ Escenari BAU de Paraguai



Gràfic 22. Emissions de CO₂ obtingudes a partir de l'escenari BAU de Paraguai. (Font: Pròpia)

Les emissions que es projecten en l'escenari BAU de Paraguai segueixen un patró de creixement lineal amb un augment significatiu dins el context nacional d'aquest país. La principal i única energia primària emissora és el petroli i per tant les polítiques haurien d'estar orientades en frenar aquest augment. Paraguai és un país amb el mateix perfil que Guatemala i per tant també entraria dins aquests països en vies de desenvolupament els quals no tenen una rellevància important dins la suma total d'emissions mundials. Per tant, el més adient, per no interposar-se dins el seu desenvolupament com a territori, seria intentar mitigar aquest augment en un interval d'anys llarg, però no buscar reduir la seva aportació perquè dificultaria el correcte funcionament i l'evolució del país.

5. Escenaris Alternatius

L'objectiu principal d'aquests escenaris alternatius de futur que es plantegen és modificar la composició de l'evolució del vector energètic segons l'escenari BAU per tal de reduir les contribucions de les fonts de combustibles fòssils. La part que es redueix és compensada per fonts d'energia primària no emissores. D'aquesta manera, no es frena el desenvolupament que projecta el país i l'evolució de la suma total de les energies primàries en l'escenari BAU no es modifica, sinó que només es canvien les contribucions de les components contaminants en pro de les no emissores. La idea que es persegueix és la d'establir escenaris alternatius els quals tendeixin a la mitigació de l'emissió del diòxid de carboni sense frenar el desenvolupament del territori.

La metodologia utilitzada per calcular els escenaris alternatius és la següent. Amb les dades que facilita la pàgina web de l'IEA, s'ha consultat els diagrames de Sankey per conèixer els subsectors que més utilitzen fonts primàries emissores de diòxid de carboni. A partir d'aquesta informació, s'ha plantejat modificacions dins un escenari alternatiu de futur on s'ha reduït l'aportació d'aquestes fonts emissores en els subsectors identificats en funció del context de cada país explicat en l'apartat 2.5.

Per tal d'obtenir la contribució percentual d'aquests subsectors l'any 2030 en un escenari BAU, s'ha consultat el diagrama de Sankey de cada país i calculat, mitjançant una regressió lineal (utilitzant el mateix mètode per les contribucions de les components del vector energètic), el valor percentual que tindria pel 2030.

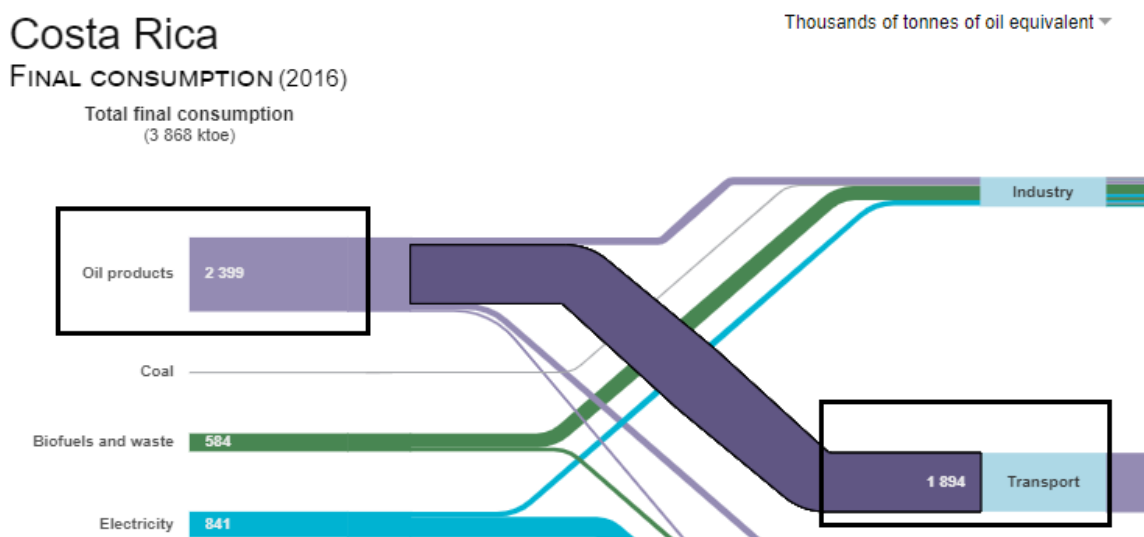


Figura 9. Dades de petroli referit al transport i productes de petroli totals utilitzats per l'escenari de futur. (Font: IEA^[15])

La Figura 9 mostra els dos valors que s'han agafat per tal de calcular el valor percentual de contribució del subsector (en aquest cas el transport) dins el total del consum total de la font emissora de CO₂. Per fer la regressió s'ha inclòs el mateix interval d'anys (2008-2015) que per calcular les tendències dels escenaris de futur BAU. No s'ha agafat la suma total de la component de la font emissora calculada en aquest treball sinó la indicada en el diagrama de Sankey de l'IEA (*oils products* en la Figura 9). El motiu d'això és que no coincidien del tot numèricament i s'ha preferit obtenir el valor percentual fent ús de dades que provenien de la mateixa font. Les discrepàncies són mínimes en general, però poden conduir a cometre un error sobre els resultats que s'obtenen. Però, vist les grans magnituds d'energia amb les quals s'està treballant, s'ha considerat que l'error podia ser menyspreable.

Mitjançant una regressió lineal, s'ha calculat la projecció del valor percentual per l'any 2030 d'aquests sectors que emeten més diòxid de carboni, i s'ha aplicat aquest al valor del total de la component de la font per tal de conèixer el valor numèric que representaria aquest sector. Un cop fet això, s'ha estimat una reducció percentual d'aquest sector escollit en funció del context de cada país i les seves polítiques de canvi climàtic passades i futures. Per compensar la reducció d'aquest consum emissor sobre el total del consum energètic, s'ha augmentat la part de diferents fonts no emissores de CO₂, segons les característiques de cada cas.

Els càlculs i resultats obtinguts es poden consultar en l'Annex 3. S'ha descartat proposar escenaris alternatius per Guatemala i Paraguai, ja que són dos països que ja tenen un vector energètic amb majoritàriament fonts no emissores i per tant ja estan un pas per davant de la majoria de països.

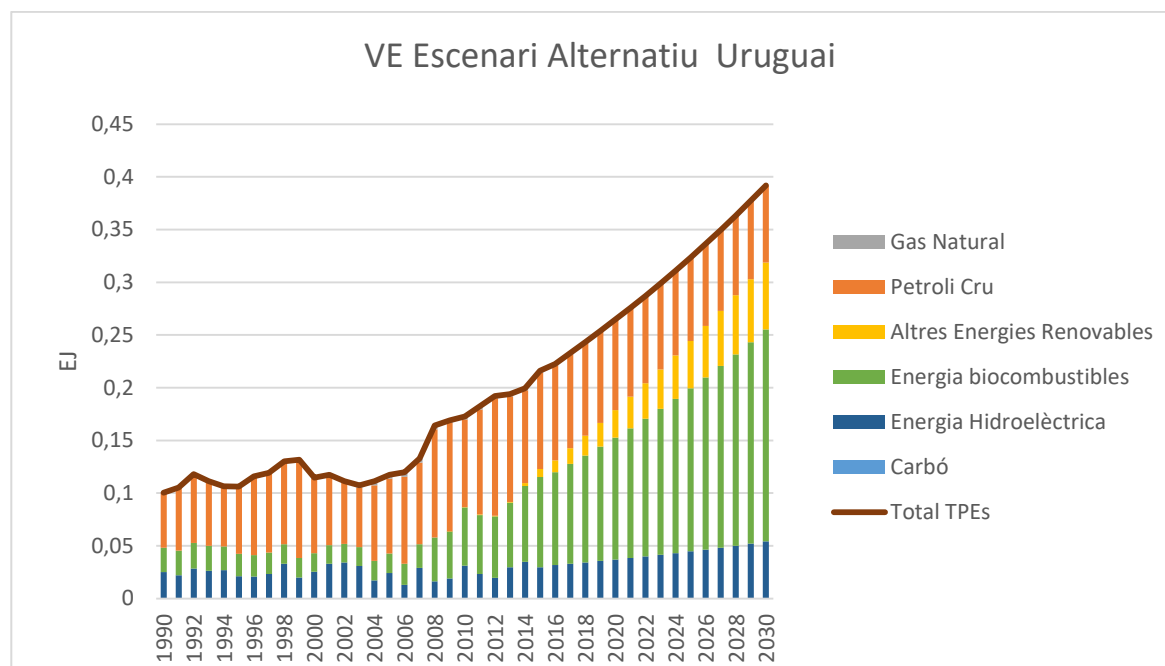
5.1. Escenari Alternatiu per Uruguai

Per plantejar l'escenari alternatiu d'Uruguai, s'ha considerat reduir les emissions de diòxid de carboni en els subsectors on aquestes eren més importants. La font d'energia primària emissora que més presència té dins el vector energètic del territori és el petroli i per tant serà la que s'intentarà reduir la seva utilització dins el consum energètic. Com ja s'ha comentat en el context i les característiques d'aquest país, els subsectors que més emeten CO₂ són el transport així com la producció d'energia elèctrica. La intenció és reduir les emissions i invertir la tendència de creixement que marcava l'escenari de futur BAU pel consum de petroli. El mateix país, com s'ha comentat en el seu context, ja inclou dins les seves polítiques de canvi climàtic transformar i millorar la xarxa de transport en termes generals i sobretot en les zones on més desplaçaments es realitzen. També contempla fomentar el transport col·lectiu i invertir en la xarxa de transport públic dins les grans aglomeracions com per exemple la capital del país. La seva solució històrica per suplir la irregularitat de rendiment de la producció d'energia elèctrica a partir de la hidroelectricitat ha sigut la importació de petroli per cremar-lo en

centrals tèrmiques. Aquesta solució no és l'única existent i es poden plantejar alternatives per no dependre exclusivament d'una energia renovable, que sempre tenen l'inconvenient que la seva producció no és tan regular com pot ser la crema d'un combustible fòssil. Com que Uruguai no té recursos propis de combustibles fòssils i sabent que aquests tenen una reserva finita, no sembla recomanable dependre de l'exterior sinó que s'ha de canviar aquesta tendència de dependència cap a un recurs que té els dies comptats. Tenir en certa manera sobirania energètica pot significar també no dependre en gran mesura de l'exterior per satisfer les necessitats energètiques i per tant obtenir més sobirania dins el mateix territori.

Aclarits els subsectors en els quals s'actuarà, la qüestió que es planteja és quines fonts que no emeten són les més indicades per substituir la part proporcional que es vol reduir del petroli. Al ser el transport el més emissor juntament amb el sector elèctric, la hipòtesi que es formula és la de substituir el petroli per l'energia produïda a partir d'altres energies renovables. En tenir diferents opcions a desenvolupar i donat que per exemple la geotèrmica com l'energia eòlica ja existeixen dins el sector elèctric, es valora potenciar aquest component del vector per reduir les emissions. Tenint en compte que el mateix país té intenció de construir 0,5 GW de potència eòlica així com 150 MW addicionals de potència geotèrmica, es considera l'opció més adequada per substituir la part proporcional que es redueix del petroli.

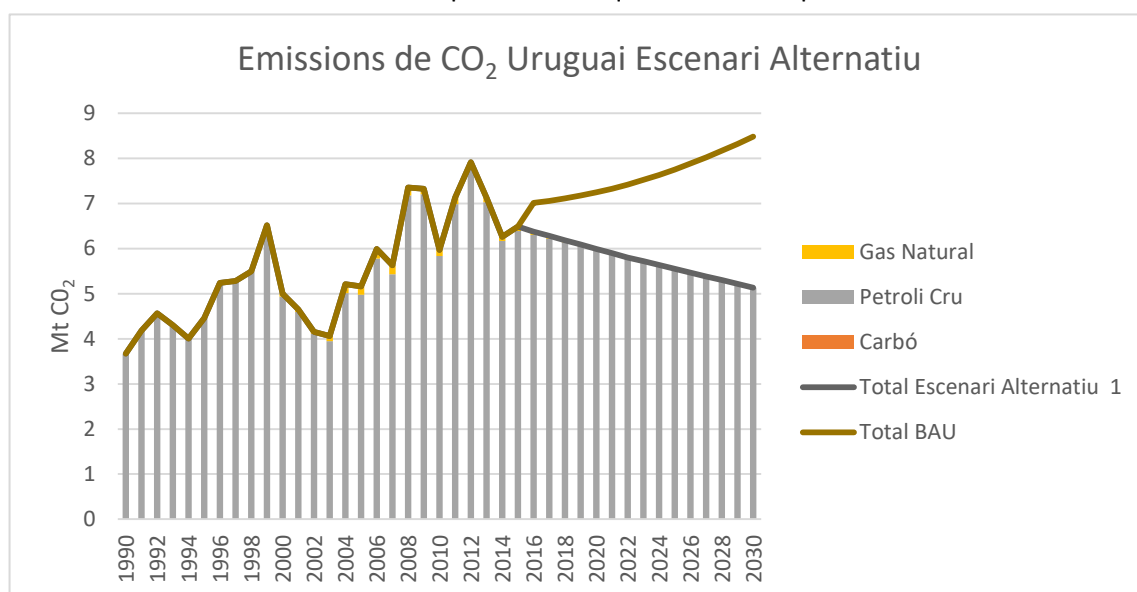
Sabent tot això, l'escenari plantejat contempla una reducció del 50% en el consum de petroli al transport així com la supressió d'aquest combustible fòssil en el sector elèctric. Aquesta reducció la suplirà en la seva totalitat les energies renovables, que agafaran més importància dins el mateix vector. D'aquesta manera les energies no emissores seran protagonista dins el vector i esdevindran majoritàries, primer pas cap a la necessària transició energètica que ha de dur a terme cada país per revertir la tendència del canvi climàtic.



Gràfic 23. Escenari Alternatiu plantejat pel VE d'Uruguai. (Font: Pròpia)

El resultat de l'escenari alternatiu plantejat mostra una diferència clara respecte a l'escenari BAU que aquest país dibuixava. El petroli redueix la seva participació dins el mateix vector energètic, tot i que la seva presència encara és notòria. Les fonts energètiques primàries són les predominants dins la suma total i l'energia produïda a partir de biocombustibles segueix sent la més important d'elles i del vector. L'energia hidràulica i les altres energies renovables agafen un paper de suport a aquesta, la qual cosa és més recomanable, ja que són menys regulars i poden tenir períodes de baixa producció elèctrica. En suplir el petroli, les altres energies renovables creixen percentualment, situant-se com a tercera font principal del vector. Les altres components del vector no es modifiquen i per tan al final la tendència

de creixement no canvia respecte al que s'havia previst en l'escenari BAU.



Gràfic 24. Emissions de CO₂ respecte l'escenari alternatiu plantejat per Uruguai. (Font: Pròpia)

L'evolució de les emissions de CO₂ en l'escenari alternatiu descriu una tendència a la inversa si es compara amb l'escenari BAU. Fins ara, la projecció marcava un creixement de les emissions associades al diòxid de carboni i aquest escenari reverteix la tendència cap a un decreixement d'aquestes emissions a nivells de principis dels anys 2000. La reducció del consum de petroli, al ser l'agent que més diòxid de carboni produeix dins el país, significa directament canviar una projecció de creixement per una de reducció d'emissions, apropant-se a valor que es tenien l'any 1990. Tenint en compte que sempre es referencien els compromisos de reducció als anys 90, sembla ser un escenari ambiciós però alhora en concordança amb els objectius que el conjunt de països la UNFCC s'han marcat des de l'inici de les reunions en la COP.

Uruguai és un país que té un vector energètic on les fonts primàries no contaminats ja tenen un paper protagonista. Realment, és un territori referent en matèria d'energia no emissores en el seu continent i més encara si es mira els vectors energètics de països molt més desenvolupats. El transport és l'únic sector que augmenta les seves emissions. Per tant, si es promou una política de canvi en la manera de desplaçar-se a l'interior del país, sent aquest molt més sostenible i es combina fonts emissores amb no emissores, el país ja podria mitigar les seves emissions. Una alternativa al que es planteja seria realitzar aquesta inversió per substituir el petroli com a font del transport de manera menys dràstica i més prolongada al llarg del segle, en funció dels recursos del mateix país.

En ser un escenari alternatiu projectat només fins al 2030, està clar que el petroli és l'agent emissor que s'ha de reduir perquè aquest país vagi reduint les seves emissions al llarg d'aquest segle.

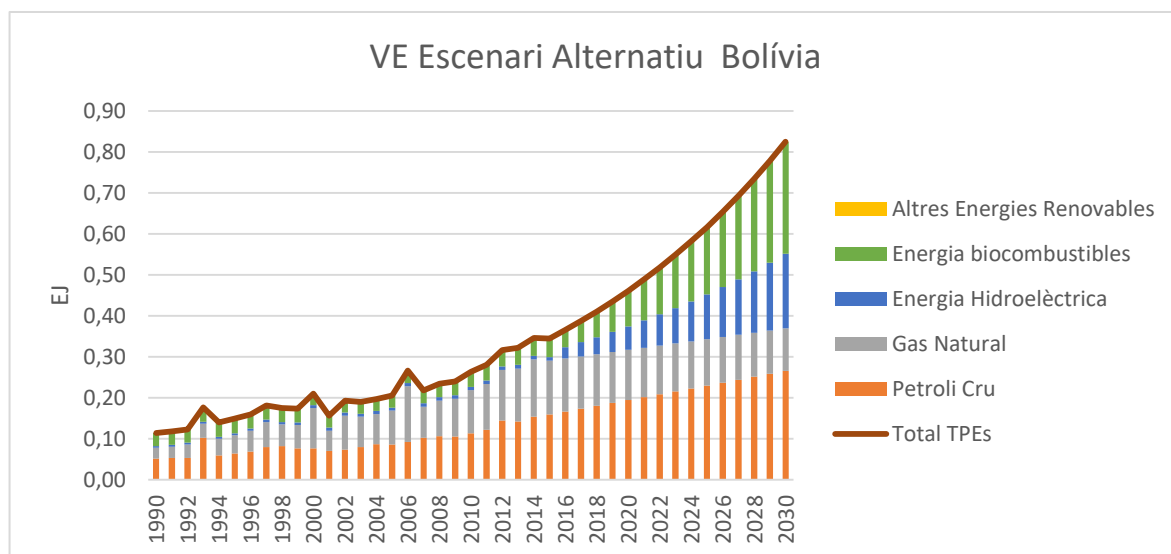
5.2. Escenari Alternatiu per Bolívia

Per plantejar l'escenari alternatiu de Bolívia, s'ha considerat primer de tot quines fonts primàries emeten més CO₂ dins el mateix vector i els sectors més importants que més consumeixen aquestes fonts. Bolívia és un país que depèn de dues fonts primàries que emeten diòxid de carboni: el gas natural i el petroli. Els sectors que més consumeixen petroli són el transport, el sector energètic, l'agricultura i l'ús residencial, sent el primer d'aquests el principal consumidor. El gas natural en aquest territori s'utilitza principalment per produir electricitat i per l'exportació. Ambdues fonts tenen una gran importància dins el vector energètic i l'escenari BAU, sent les dues principals fonts destacades que consumeix el país. Sembla evident la necessitat d'una transició energètica dins aquest país, amb l'objectiu de reduir el consum d'aquestes energies primàries i desenvolupar altres energies no emissores perquè agafin un paper molt més protagonista. Seguint el mateix plantejament que s'ha fet amb Uruguai, es planteja un escenari on els principals consumidors de les fonts emissores siguin els sectors on s'hagin de reduir aquestes emissions. Per tant, d'una banda es pretén reduir el consum de petroli dins el transport i per l'altra la producció d'energia elèctrica a partir del gas natural. El mateix país ja recull, dins la seva Comunicació Nacional, polítiques de millora del transport, fomentant el desplaçament col·lectiu, la millora de la qualitat de la xarxa, etc. De la mateixa manera, també té previst reduir la participació del gas natural dins el sector elèctric explorant altres fonts alternatives.

Com ja s'ha comentat en el context territorial del país, Bolívia ja té previst invertir per desenvolupar l'energia hidroelèctrica amb la construcció de sis centrals i ja ha realitzat estudis que demostren la viabilitat de la implantació d'altres energies renovables. Però, de cara al 2030, és preferible continuar desenvolupant les fonts primàries no emissores ja existents en el vector, per més endavant començar a instal·lar altres fonts alternatives de les quals ja s'han fet estudis. L'energia hidroelèctrica, que previsiblement segons el país es desenvoluparà, és una opció que s'ha triat per substituir una part percentual de la reducció del consum del gas natural. L'altra opció que s'ha contemplat és l'energia produïda a partir de biocombustibles. És una font que pot actuar tant de substitut del gas natural en la matriu de producció energètica com de suport per eliminar parcialment la dependència de petroli en el transport.

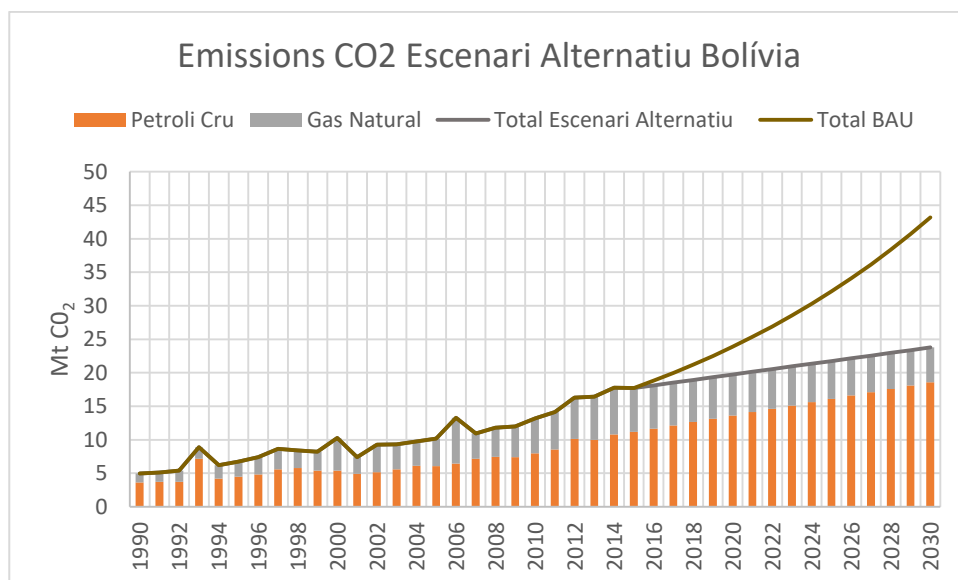
L'objectiu principal plantejat en aquest escenari és el de frenar la trajectòria ascendent que dibuixa l'escenari BAU del país per les emissions de diòxid de carboni. Més endavant, la tendència hauria de ser la d'estabilitzar les emissions abans del 2050 i reduir-les de cara a la segona meitat del segle XXI. Per tant, les reduccions han de ser bastant dràstiques en aquest sentit, ja que l'escenari BAU indica un increment exponencial de les emissions. L'objectiu que es marca per aquest país és el de transformar aquesta tendència exponencial en una lineal amb un pendent poc pronunciat, que permeti l'atenuació d'aquesta pujada en un curt termini més endavant. Per això, s'ha plantejat la reducció del 70% del consum del petroli en el transport i el 70% del total gas natural (sabent que aquest s'utilitza

principalment per produir electricitat). L'energia hidroelèctrica aportarà un 40% de les reduccions que s'han plantejat i els biocombustibles el 60% restant.



Gràfic 25. Escenari Alternatiu del vector energètic de Bolívia. (Font: Pròpia)

Com es pot observar en el Gràfic 25, el vector energètic de Bolívia en aquest escenari alternatiu pateix un canvi significatiu. El creixement que marcava l'escenari BAU pel petroli així com pel gas natural s'ha modificat. D'una banda el petroli veu l'augment de la seva aportació dins el vector reduït a un creixement molt menys pronunciat i d'altra el gas natural directament redueix la seva aportació en la suma total de les energies primàries respecte al 2015. Tant l'energia hidroelèctrica com la de biocombustibles augmenten la seva participació dins la suma total de manera molt significativa, arribant a ser ambdues dos de les principals fonts primàries del país. En total, s'ha invertit la tendència de creixement de les fonts emissores de diòxid de carboni per substituir-la per una la qual aquestes fonts tenen la mateixa aportació que les energies primàries no emissores.



Gràfic 26. Escenari Alternatiu d'emissions de CO₂ de Bolívia. (Font: Pròpia)

La tendència que descriu l'evolució de les emissions de CO₂ d'aquest escenari, en comparació amb la de l'escenari BAU, és clarament diferent. Si l'escenari BAU mostrava un creixement exponencial de les emissions en els pròxims anys, l'escenari alternatiu mostra un augment molt més lineal i pausat. El petroli, en tenir un factor d'emissió més alt i ser la font emissora més important, segueix sent el principal responsable d'aquestes emissions. Aquesta font segueix en creixement en l'escenari però es redueix de manera important si es compara amb l'escenari BAU. El gas natural, en reduir la seva aportació dins el vector, també redueix les seves emissions dins la suma total. Cal remarcar que és un escenari molt auster que imposa una reducció d'emissions de diòxid de carboni important, passant d'una previsió de gairebé 43 Mt de CO₂ per l'any 2030 a una mica menys de 25 Mt de CO₂.

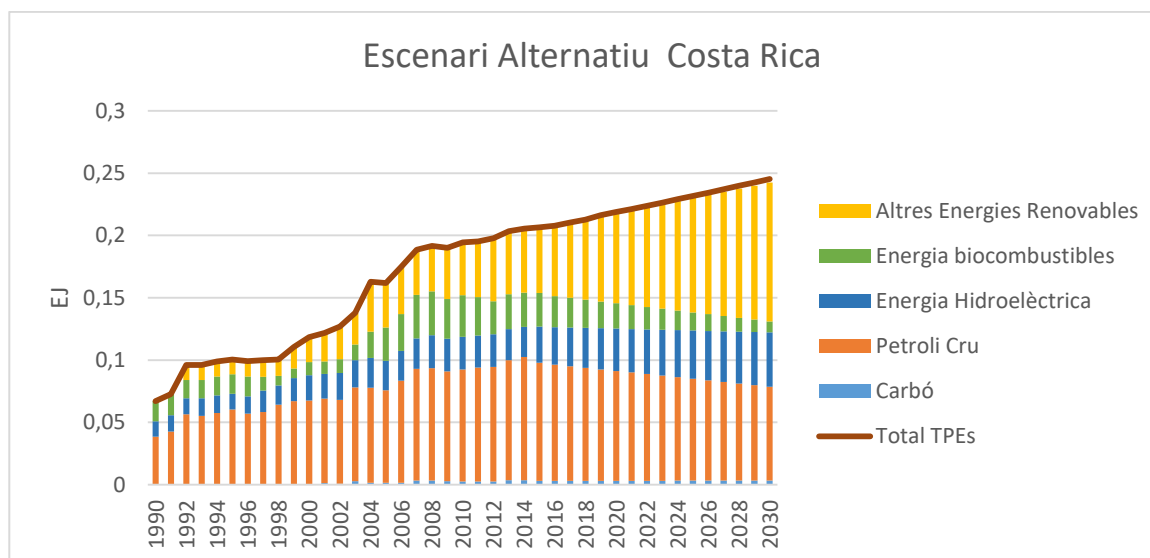
La tendència que descriu aquest escenari hauria de marcar un punt d'inflexió en la manera de consumir d'aquest país a la vegada que definir el camí cap a la seva transició energètica. Està clar que és un escenari molt ambiciós però vist la tendència exponencial de consum de fonts emissores del país, s'ha procedit d'aquesta manera per tal d'intentar frenar aquest creixement. Òbviament, el sector residencial i l'agricultura són dos àmbits on el petroli està present i s'hauria també de mitigar a poc a poc la seva presència. El transport segueix sent el principal focus on s'ha de ficar més esforços, ja que és el principal emissor de diòxid de carboni i l'escenari no aconsegueix reduir l'aportació del petroli sinó només frenar el seu creixement. Per tant, de cara al 2050, seria convenient aconseguir l'estabilització definitiva de les emissions de diòxid de carboni a través de la reducció del consum de petroli dins el vector. De cara a la segona meitat del segle s'hauria de plantejar reduir definitivament les emissions a través de la implantació d'altres energies renovables (sabent que són recursos energètics viables) en el sector elèctric per exemple i suprimir el gas natural dins aquest. Existeixen altres opcions però l'objectiu hauria de ser fer decreixer les emissions de CO₂.

5.3. Escenari Alternatiu per Costa Rica

Per plantejar l'escenari alternatiu de Costa Rica, s'ha tingut en compte la principal font emissora de CO₂ del vector que en aquest cas és el petroli. La seva projecció dins l'escenari BAU és de creixement lineal sent la font més utilitzada per satisfer les necessitats energètiques del país. Els principals sectors que utilitzen aquesta energia primària són el transport, el sector energètic i l'industrial. Són 3 sectors importants dins el desenvolupament de l'economia d'un país i per tant estratègics. Costa Rica és un país que importa gairebé tot el petroli que consumeix i per tant depèn molt de l'estabilitat d'aquest recurs exterior. Com ja es comenta per Uruguai, aquesta dependència no és ideal, ja que aquesta font té recursos limitats i històricament comporta estar enmig d'una guerra d'interessos econòmics entre els països exportadors d'aquest recurs que no convé als altres països. Per tant, reduir aquesta dependència és recomanable per no condemnar l'economia i el desenvolupament d'un país que importa petroli si s'esdevé un escenari controvertit. S'ha de tenir en compte que aquest país ja té un vector energètic on les fonts no emissores ja tenen un paper destacat. Per tant, es tracta, per invertir la tendència de creixement d'emissions, de reduir l'aportació del petroli. Seguint la mateixa dinàmica que en els casos anteriors, es vol mitigar el consum de petroli dins el transport i que altres fonts d'energia primària substitueixen aquesta progressivament.

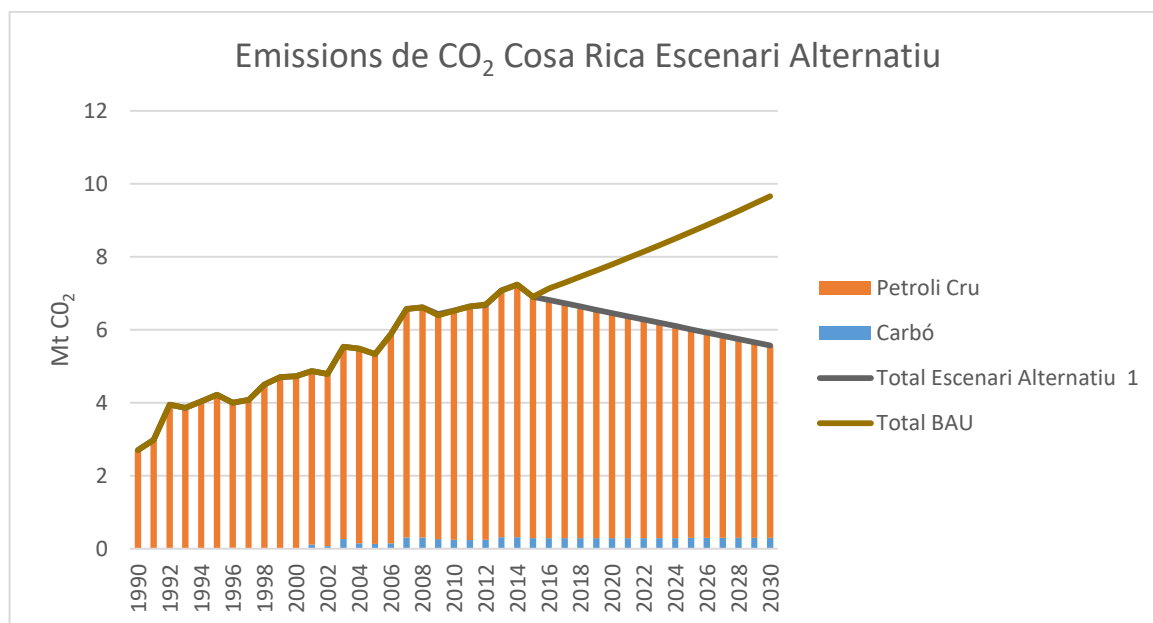
Les fonts d'energia primàries no emissores són les que majoritàriament produeixen l'electricitat del país. Concretament la geotèrmia i l'energia hidràulica són les principals font de producció elèctrica i per tant són les més adients a potenciar en substitució del petroli. El fet que estiguin ja plenament desenvolupades significa d'un costat que són una alternativa real i per altre que la inversió serà menor perquè la tecnologia en aquest país ja existeix. El mateix territori ja contempla millores en la xarxa de transport públic i en general en els desplaçaments que comporta aquest sector. El plantejament que es fa és el de fomentar el transport col·lectiu elèctric en les grans aglomeracions augmentant la producció elèctrica del país per satisfer el probable creixement de la demanda elèctrica.

L'objectiu principal d'aquest escenari és invertir la tendència creixent que en l'escenari BAU té el petroli reduint la seva contribució dins el vector energètic i per tant obtenint una tendència decreixent. Per tal d'aconseguir aquesta premissa, se suposa una reducció de 40% del consum de petroli en el sector del transport que vindrà substituït per l'energia hidroelèctrica i les altres fonts d'energia renovable. L'energia hidràulica compensarà un 40% del que es redueixi de consum de petroli i les altres fonts d'energia renovable el 60% restant.



Gràfic 27. Escenari alternatiu del vector energètic de Costa Rica. (Font: Pròpia)

Com es pot observar en el Gràfic 27, la tendència de creixement que descrivia l'escenari BAU pel petroli s'ha invertit obtenint un decreixement d'aquest recurs. La seva contribució dins el vector energètic ja no és la més important, sinó que són les fonts no emissores són les que predominen dins el mateix vector. Les altres energies renovables són la component que més evolucionen dins la suma total d'energies primàries que utilitza el país. Tenen un clar augment de la seva contribució en la suma total, i passen a ser la font d'energia principal que utilitza el país per satisfer les seves necessitats. En l'escenari BAU creixen però sense que sigui tan marcat com el cas de l'escenari alternatiu de futur. L'energia hidràulica també creix, però de manera menys pronunciada i assumint el paper de tercera font primària més utilitzada pel territori. La contribució total dels recursos energètics primaris no emissors del país s'esdevenen majoria dins el mateix vector i per tant es podria dir que l'objectiu que es planteja en un principi s'ha complert de manera satisfactòria.

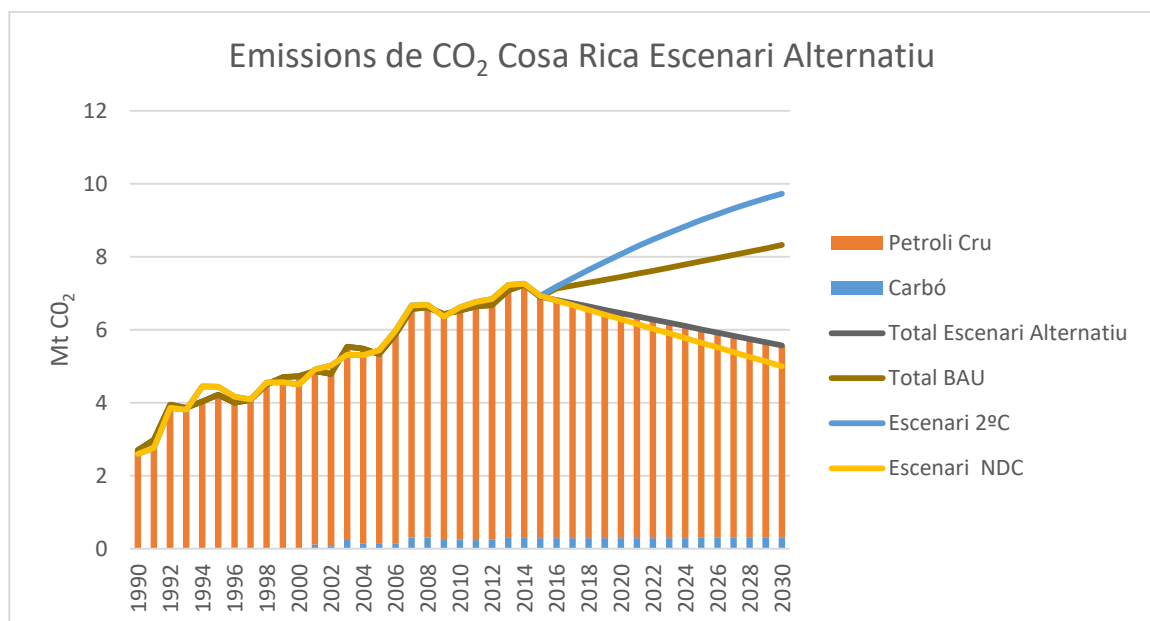


Gràfic 28. Escenari alternatiu d'emissions de CO₂ de Costa Rica. (Font: Pròpia)

Les emissions de CO₂ que descriu l'escenari alternatiu de Costa Rica denoten una clara tendència canviant. El que planteja l'escenari BAU és un creixement de les emissions del país amb un pendent significatiu, seguint amb l'evolució històrica que té el país. En canvi, l'escenari alternatiu proposa una situació totalment diferent: reduint el consum en el transport la tendència d'emissions és cap a la baixa, fins a nivells pròxims als inicis dels anys 2000. La contribució del petroli es veu reduïda amb una projecció lineal de pendent negatiu que acaba amb un balanç d'emissions inferior a 6 Mt de CO₂ (quan actualment aquesta xifra està al voltant dels 7 Mt de CO₂). Aquesta tendència compleix un dels objectius que anteriorment s'ha esmentat en l'escenari alternatiu de Costa Rica: totes les polítiques en matèria de canvi climàtic han d'anar encaminades a tornar al volum d'emissions de finals del segle XX i principis del segle XXI.

Costa Rica és un país que ja tenia una presència important de fonts no emissores dins el seu vector, però que no conformaven la majoria del consum energètic del país. Aquest escenari, mitjançant l'impuls d'una mobilitat alternativa a la tradicional, les converteix en les fonts principals de consum. La corba de disminució d'emissions que descriu aquest escenari fins a l'any 2030 hi hauria, posteriorment, atenuar-se i estabilitzar-se en un punt proper a les emissions corresponents a finals del segle XX.

A continuació, i per completar els resultats d'aquest escenari, que es considera el més interessant, ja que potencia les altres energies renovables, es compara aquests escenaris plantejats amb la trajectòria dels 2°C i la de la NDC de Costa Rica (es poden consultar els càlculs a l'Annex 3, pestanya "Costa Rica" i les dades recollides per la trajectòria dels 2°C a l'Annex 4).



Gràfic 29. Comparativa entre els escenaris alternatius i BAU propis amb els del camí de 2°C i el NDC de Costa Rica. (Font: Pròpia)

Tal com es pot observar en el Gràfic 29, els escenaris que s'han obtingut arran dels càlculs realitzats en aquest treball no disten molt de les projeccions que han formulat les mateixes institucions les quals es basen aquests càlculs. El que més destaca, dins aquestes múltiples projeccions, és la similitud entre l'escenari de futur plantejat en aquest treball i l'escenari que el mateix país es va comprometre a dur a terme en la seva última NDC. Difereix molt poc l'una de l'altra, el que reafirma que Costa Rica projectarà reduccions de la mateixa magnitud que les plantejades en l'escenari alternatiu d'aquest treball i posant els esforços en reduir les emissions en els sectors que més contaminen en el país.

L'escenari BAU del treball és més conservador que el camí dels 2 °C, que ha calculat el mateix grup de treball de la UPC que es mencionava en la introducció. Costa Rica, en ser un país encara en desenvolupament, forma part d'aquests països que tenen una aportació d'emissions poc rellevant a escala mundial. S'afegeix a això el fet que dins el que s'ha definit com a justícia climàtica, l'històric de les seves emissions per càpita li atorga una responsabilitat molt menor a la situació actual. Per tant, dins aquesta premissa i per permetre el país arribar a un nivell de desenvolupament semblant a països com Espanya, pot augmentar les seves emissions fins a arribar a aquest punt. Per això el camí dels 2 °C dibuixa un creixement inclús més permissiu que l'escenari BAU del treball. Però, el mateix país s'ha compromès, en una actitud altruista, a reduir les seves emissions de manera similar al que es planteja en aquest treball. Això respon a la voluntat del mateix Estat a reafirmar el seu compromís a promoure una transició energètica que mitigui els efectes del canvi climàtic imminent. Tot això, sabent que els principals països emissors de diòxid de carboni són els que hi haurien realment de disminuir les seves emissions de manera dràstica, en tenir una responsabilitat històrica en el desenvolupament el canvi climàtic.

6. Anàlisi de l'impacte ambiental

A continuació es desglossa l'impacte ambiental per elaborar aquest projecte. Per realitzar aquest s'ha considerat les emissions de diòxid de carboni produïdes a l'hora de desplaçar-se i el consum energètic derivat de la realització del treball.

En el tipus de trajecte i nombre, s'ha considerat tots els viatges fets en relació amb el desenvolupament del treball (reunions, hores de treball a la biblioteca, etc.). El vehicle privat utilitzat per fer els trajectes en automòbil és un Citroën Berlingo familiar que té un consum mitjà de 6L/100 km. L'ordinador utilitzat és un HP Elitebook 840 G2 amb poca antiguitat.

Impacte energètic

| | |
|------------------------|---|
| Hores de treball | 655h |
| Consum | 0,065 kW ^[19] |
| Emissions per unitat | 0,321 kg CO ₂ /kWh ^[20] |
| Emissions total | 13,67 kg de CO₂ |

Taula 2. Impacte ambiental energètic

Impacte transport

| | |
|---------------------------------|--|
| Viatges en bicicleta | 90 |
| Emissions per trajecte | 0 kg/CO ₂ |
| Viatges en metro | 20 |
| Distància del trajecte de metro | 10 km |
| Emissions per unitat | 0,05013 kg CO ₂ /passatger·km ^[21] |
| Viatges en cotxe | 2 |
| Consum per distància | 0,06 litres/km |
| Distància per trajecte de metro | 15 km |
| Emissions per unitat | 2,157 kg/litre |

| | |
|-------------------------|--------------------------------|
| Emissions totals | 13,91 kg CO₂ |
|-------------------------|--------------------------------|

Taula 3.Impacte ambiental del transport

Per tant, l'impacte ambiental per l'elaboració d'aquest treball de fi de grau s'ha traduït en l'emissió indirecta de 27,58 kg de CO₂.

Conclusions

En aquest apartat es projecten una sèrie de consideracions que conformaran les conclusions genèriques d'aquest treball d'acord amb els resultats obtinguts. Aquestes consideracions es fan de manera separada, seguint el desenvolupament que descriu el projecte.

Històric del VE i emissions de CO₂ dels països

Els històrics dels vectors energètics (VE) de tots els països objecte d'estudi tenen a la vegada similituds i deferències. Si s'analitzen els VE de països en vies de desenvolupament, com és el cas d'aquest projecte, s'observa que tots tenen una tendència a créixer de manera significativa, a causa del creixement del consum energètic associat al desenvolupament econòmic del país. Si bé és cert que no tots els països han evolucionat de la mateixa manera, en línies generals es poden observar dues tendències: la primera amb una progressió més regular i sempre positiva (en el cas de Guatemala, per exemple) i la segona caracteritzada per un augment del VE però amb períodes de decreixement més fort (en el cas de Paraguai, per exemple).

Pel que fa al perfil de components de cada país, es poden extreure diferents conclusions.

- Paraguai, que ha consumit majoritàriament fonts renovables no emissores, és una excepció dins la tendència general.
- La tendència general és la que segueix Bolívia, amb predominança de recursos energètics primaris emissors, i havent fomentat i introduït recentment energies no emissores dins el seu VE.
- Pel que fa a les energies primàries no emissores, el biocombustible és una font que es troba present en tots els països, en tenir tots ells un perfil geogràfic caracteritzat per una gran presència de boscos i vegetació.
- Tots els països estudiats incorporen de forma significativa dins el seu VE el petroli com a font energètica i gairebé cap utilitza el carbó com a recurs (o bé l'utilitza de manera molt residual). En tenir el petroli una presència rellevant dins el VE, és aquest l'agent més contaminant en tots aquests països i per tant és el principal recurs del qual s'ha d'intentar reduir el consum.

Per altra banda, en els casos on s'ha pogut obtenir dades completes de les emissions, s'ha comprovat que existeix una relació directa entre l'evolució de les emissions i l'evolució de les fonts primàries emissores. L'evolució de les emissions de diòxid de carboni segueix l'evolució dels recursos energètics i els seus factors d'emissions. La tendència general de l'històric de les emissions segueix el mateix patró que la del VE, és a dir un creixement que pot ser regular o amb reduccions puntuals.

Escenaris BAU

Els escenaris BAU (*Business as Usual*) obtinguts per extrapolació de la tendència en els últims anys, mostren un augment del VE que és més o menys pronunciat en funció del país.

S'observa en tots els casos un creixement de les fonts emissores que tenen una certa rellevància dins el VE, tendència que va en contra de la política de canvi climàtic encaminada a la reducció progressiva de les emissions de diòxid de carboni.

En aquests escenaris BAU, no varia significativament la relació d'importància entre els recursos primaris emissors i els no emissors de cada país. El cas d'Uruguai és una excepció: s'inverteix la dinàmica on històricament eren les fonts contaminants les que predominaven en el VE, per passar a un escenari on les fonts no emissores són majoritàries.

Les emissions de CO₂ en els escenaris BAU segueixen la mateixa tendència que l'històric del VE: el petroli predomina i és el principal responsable de les emissions. En el cas de Bolívia o Guatemala, tant el gas natural com el carbó augmenten la seva presència.

Escenaris Alternatius

Els escenaris alternatius s'han plantejat per Bolívia, Costa Rica i Uruguai, que són tres països que tenen com a factor comú el petroli com a font principal emissora de diòxid de carboni, juntament amb un escenari BAU que dibuixa un augment significatiu d'aquestes emissions. En aquests tres països és possible apostar per una reducció del consum de petroli, per a reduir significativament les emissions de CO₂. La idea és formular propostes per reduir les emissions de diòxid de carboni d'aquests països sense perjudicar el seu desenvolupament econòmic.

En tots els casos, els principals sectors responsables de les emissions són el sector del transport i el sector energètic. En els escenaris per aquests tres països, s'ha plantejat principalment una reducció de la contribució del petroli en els sectors del transport, donat que tots tres països ja estan establint polítiques de cara a millorar l'eficiència del transport així com la seva xarxa, i estan fomentant una mobilitat més sostenible en transport públic col·lectiu. Els resultats obtinguts a partir d'aquests escenaris alternatius per Costa Rica i Uruguai són prou esperançadors, comparat amb l'escenari BAU, ja que tenen dins els seus VE una part important de fonts energètiques primàries no emissores. Plantejant una reducció d'emissions focalitzada en el transport, aconsegueixen invertir la tendència de creixement d'emissions, per a reduir aquestes emissions fins a nivells de principis del segle XXI. En el cas de Bolívia, el gas natural i el petroli monopolitzen pràcticament el VE del país, i per tant no sembla possible invertir la tendència de creixement de les emissions en un termini de 15 anys. És més realista frenar en un primer termini l'augment exponencial de les emissions de CO₂ que descrivia l'escenari BAU i fixar a més llarg termini l'objectiu d'estabilitzar les emissions.

Reflexions generals

Els majors responsables del reescalfament global són en gran mesura Europa occidental i els Estats Units, amb la incorporació recent de països amb un fort creixement industrial com la Xina, el Brasil o l'Índia.

Els països americans estudiats en aquest treball tenen una responsabilitat històrica d'emissions per càpita poc significativa en comparació amb la resta del món (vegeu l'Annex 1). La majoria d'aquests països ja tenen integrades les energies renovables no emissores com a recurs per satisfer les seves necessitats energètiques, i no tenen la necessitat de desenvolupar l'energia nuclear com a solució a mitjà termini. Aquests països poden complir els seus compromisos de reducció d'emissions instaurant polítiques en un únic sector, en particular el sector del transport. El problema que potser es planteja són els recursos tant econòmics com tecnològics necessaris per a aplicar aquestes polítiques. Els acords adoptats en les reunions de la COP contemplen ajudes a països en vies de desenvolupament com els que s'han analitzat en el present estudi. En aquest context, com s'ha dit, aquests països són capaços de complir amb els seus objectius de reducció de les emissions basant-se en polítiques concretes, focalitzades en un sector determinat com el del transport.

Tot així, des d'un punt de vista de justícia climàtica, són els Estats més responsables del canvi climàtic els que haurien de reduir més fortament les seves emissions. Seria més just adoptar polítiques de transició energètica més severes amb els països més emissors de diòxid de carboni (principal gas a efecte hivernacle) i més laxes amb els països que encara es troben en via de desenvolupament. Tanmateix, al mateix temps s'hauria de facilitar un canvi de model de consum energètic en aquests països, apartant-se del model actual dels països desenvolupats però sense que això afecti negativament al seu creixement econòmic.

Sobre el mateix desenvolupament del document, s'han trobat sobretot dificultats a l'hora de determinar amb exactitud els escenaris de futur. La metodologia plantejada per obtenir aquests és segurament millorable, ja que la base de dades recollida no coincidía exactament amb les dades del diagrama de Sankey. Les NDCs dels països analitzen correctament els sectors més emissors. Però, és difícil quantificar objectivament el grau de compliment de les polítiques que cada Estat projecta en el seu propi document, ja que no hi ha normalment un calendari acordat ni es fa un balanç crític sobre les mesures ja implantades. També s'ha de dir que en segons quins països, la NDC no estava molt actualitzada (per exemple la de Bolívia) i no donava realment una visió actual de l'estat del país. En definitiva, els escenaris alternatius d'aquest treball són orientatius, mostrant la possibilitat de mitigar les emissions de diòxid de carboni d'aquests països.

Pressupost

El pressupost s'ha elaborat a partir de tres costos diferents: els costos d'enginyeria, els costos informàtics i els relacionats amb el transport.

Els costos d'enginyeria s'han elaborat en funció de les hores totals que ha treballat l'autor del projecte i les hores de reunions realitzades amb la tutora del treball. Des del 2009, que no es pot facilitar per llei (darrera modificació de la Llei Estatal 2/1974, de 13 de febrer, article 14, 4a disposició) honoraris orientatius d'enginyer. Per tant, s'ha estipulat un preu orientatiu propi de 40 €/h pels honoraris de la Directora del treball. Els honoraris de l'autor són de 25 €/h a causa de la seva inexperiència en l'àmbit laboral i per no disposar encara del títol universitari d'enginyeria tècnica.

| Costos d'enginyeria | |
|--|----------------|
| Durada del treball | 141 dies |
| Dies treballats | 131 dies |
| Hores per dia treballat | 5 h |
| Honoraris estudiant en últim curs de grau d'enginyeria | 25€/h |
| Subtotal | 16375 € |
| Nombre de reunions amb la tutora | 10 |
| Hores per reunió | 1,5 h |
| Honoraris Enginyera Superior | 40 €/h |
| Subtotal | 600 € |
| Total | 16975€ |

Taula 4. Costos d'enginyeria associats al projecte

Pels costos informàtics, s'ha considerat el preu de l'ordinador amb el qual s'ha realitzat el treball així com el preu del seu consum elèctric.

| Costos informàtics | |
|--|-----------------|
| Preu ordinador portàtil | 696 € |
| Consum | 0,065 kW |
| Hores de treball | 655 h |
| Preu electricitat (any 2017) ^[21] | 0,176 €/kWh |
| Total | 703,49 € |

Taula 5. Costos informàtics associats al projecte

Els costos de transport només inclouen el preu del bitllet per desplaçar-se en transport públic, ja que els principals trajectes s'han realitzat en bicicleta. El transport en cotxe s'ha realitzat en un vehicle particular i per tant no es té en compte dins el pressupost.

| Costos de transport | |
|---|----------------|
| Targeta de 10 viatges TMB ^[22] | 10,20 € |
| Nombre de Targetes | 2 |
| Total | 20,40 € |

Taula 6. Costos de transport del treball

El cost total associat a la realització d'aquest Treball de Fi de Grau és de 17698,89 € (sense IVA).

Referències

- [1] Xercavins, J. i Alcaraz, O. (2017). Ciència de l'escalfament global i del CC (Tema I-1) [en línia]. Assignatura de Canvi Climàtic: ciència, energia, economia, política i futur [Primera consulta: 15 de Març 2019]. Disponible a:
https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2726058/mod_resource/content/3/Ciencia%20I%20del%20Ocalentamiento%20global%20y%20del%20CC.pdf
- [2] IPCC, 2015. *Climate Change 2014: Synthesis Report* [en línia]. ISBN: 9789291691432 [Primera consulta: 10 de Maig 2019]. Disponible a:
https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment_report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
- [3] IPCC, 2008. *Climate Change 2007: Synthesis Report* [en línia]. ISBN: 9291691224 [Consulta: 10 de Maig 2019]. Disponible a:
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf
- [4] Xercavins, J. i Alcaraz, O. (2016). Ciència de l'escalfament global i del CC (Tema I-2) [en línia]. Assignatura de Canvi Climàtic: ciència, energia, economia, política i futur [Primera consulta: 15 de Març 2019]. Disponible a:
https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2726063/mod_resource/content/3/Ciencia%20I%20del%20Ocalentamiento%20global%20y%20del%20CC.pdf
- [5] Xercavins, J. i Alcaraz, O. (2016). La UNFCC-1 (Tema 3.1-1) [en línia]. Assignatura de Canvi Climàtic: ciència, energia, economia, política i futur [Primera consulta: 15 de Març 2019]. Disponible a:
https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2726083/mod_resource/content/2/III.1.La%20UNFCCC-1.pdf
- [6] Xercavins, J. i Alcaraz, O. (2017). *El PK (Protocolo de Kyoto)* [en línia]. Assignatura de Canvi Climàtic: ciència, energia, economia, política i futur [Primera consulta: 17 de Maig 2019]. Disponible a:
https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2726088/mod_resource/content/3/PK.pdf
- [7] UNFCC, 2015. *Acuerdo de París* [en línia]. [Primera consulta: 17 de Maig 2019]. Disponible a:
https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf

[8] Xercavins, J. i Alcaraz, O. (2017). *Las INDCs* (Tema 4.3) [en línia]. Assignatura de Canvi Climàtic: ciència, energia, economia, política i futur [Primera consulta: 17 de Maig 2019]. Disponible a: https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2779497/mod_resource/content/0/IV.3.%20Las%20INDCS.pdf

[9] Xercavins, J. i Alcaraz, O. (2017). *El IPCC, el AR5, y el presente y el futuro* (Tema 4.2) [en línia]. Assignatura de Canvi Climàtic: ciència, energia, economia, política i futur [Primera consulta: 17 de Maig 2019]. Disponible a: https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2779496/mod_resource/content/0/IV.2.%20El%20AR5%20y%20PAR%C3%8DS.pdf

[10] *Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente de Uruguay*, 2010. *Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático* [en línia]. ISBN: 978-9974-8284-2-1 [Primera consulta: 7 d'Abril 2019]. Disponible a: https://unfccc.int/documents%3Ff%5B0%5D%3Dtopic%3A4047?f%5B0%5D=country%3A1318&f%5B1%5D=document_type%3A626

[11] *International Energy Agency. Sankey Diagram of Uruguay* [en línia]. [Primera consulta: 8 de Maig de 2019]. Disponible a: <https://www.iea.org/Sankey/#?c=Uruguay&s=Final%20consumption>

[12] *Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia*, 2009. *Segunda Comunicación Nacional del Estado Plurinacional de Bolivia ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático* [en línia]. ISBN: 4-1-381-09 P.O [Primera consulta: 7 d'Abril 2019]. Disponible a: <https://unfccc.int/resource/docs/natc/bolnc2exsums.pdf>

[13] *International Energy Agency. Sankey Diagram of Plurinational State of Bolivia* [en línia]. [Primera consulta: 8 de Maig de 2019]. Disponible a: <https://www.iea.org/Sankey/#?c=Plurinational%20state%20of%20Bolivia&s=Balance>

[14] *Ministerio del Ambiente y Energía de Costa Rica, Instituto Meteorológico Nacional-Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas*, 2014. *Tercera comunicación nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático* [en línia]. ISBN: 978-9977-50-116-1 [Primera consulta: 7 d'Abril 2019]. Disponible a: <https://unfccc.int/resource/docs/natc/corncl.pdf>

[15] *International Energy Agency. Sankey Diagram of Costa Rica* [en línia]. [Primera consulta: 8 de Maig de 2019]. Disponible a:

<https://www.iea.org/Sankey/#?c=Costa%20Rica&s=Final%20consumption>

[16] *International Energy Agency. Statistics of Argentina*. [en línia]. [Primera consulta: 9 de Febrer de 2019]. Disponible a:

<https://www.iea.org/classicstats/statisticssearch/report/?country=ARGENTINA&product=balances&year=1990>

[17] *International Energy Agency, 2018. World Energy Balances, Database documentation* [en línia]. [Primera consulta: 10 de Maig de 2019]. Disponible a:

http://wds.iea.org/wds/pdf/worldbal_documentation.pdf

[18] Xercavins, J. i Alcaraz, O. (2016). *El vector energètic y las emisiones asociadas a la quema de combustibles fósiles* (Pràctica 1) [en línia]. Assignatura de Canvi Climàtic: ciència, energia, economia, política i futur [Primera consulta: 4 de Març 2019]. Disponible a:

https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2762918/mod_resource/content/0/Pr%C3%A1ctica1.pdf

[19] *HP. Soporte al cliente de HP: base de conocimientos* [en línia]. [Primera consulta: 1 de Juny 2019]. Disponible a: <https://support.hp.com/es-es/document/c04560186>

[20] *Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2018. Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte hivernacle (GEH), v_2018*. [en línia]. [Primera consulta: 1 de Juny 2019] Disponible a:

http://canviclimatic.gencat.cat/es/actua/calculadora_demissions

[21] *Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2017. Indicadores y Estadística: Precio neto de la electricidad para uso doméstico y uso industrial* [en línia]. [Primera consulta: 1 de Juny 2019]. Disponible a:

https://www.mincotur.gob.es/esES/IndicadoresyEstadisticas/DatosEstadisticos/IV.%20Energ%C3%ADa%20y%20emisiones/IV_12.pdf

[22] *Transport Metropolità de Barcelona. Bitllets i tarifes: Bitllets senzills i abonaments integrats* [en línia]. [Primera consulta: 1 de Juny 2019]. Disponible a: <https://www.tmb.cat/ca/tarifes-metro-bus-barcelona/senzills-i-integrats/t-10>

[23] IPCC, 1996. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* [en línia].

[Primera Consulta: 8 de Maig 2019]. Disponible a:

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>

Bibliografia

- (1) Xercavins, J. i Alcaraz, O. (2017). Ciència de l'escalfament global i del CC (Tema I-1) [en línia]. Assignatura de Canvi Climàtic: ciència, energia, economia, política i futur [Primera consulta: 15 de Març 2019]. Disponible a:
https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2726058/mod_resource/content/3/Ciencia%20del%20Ocalentamiento%20global%20y%20del%20CC.pdf
- (2) Xercavins, J. i Alcaraz, O. (2017). Ciència de l'escalfament global i del CC (Tema I-2) [en línia]. Assignatura de Canvi Climàtic: ciència, energia, economia, política i futur [Primera consulta: 15 de Març 2019]. Disponible a:
https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2726063/mod_resource/content/3/Ciencia%20del%20Ocalentamiento%20global%20y%20del%20CC.pdf
- (3) Xercavins, J. i Alcaraz, O. (2017). La UNFCC-1 (Tema 3.1-1) [en línia]. Assignatura de Canvi Climàtic: ciència, energia, economia, política i futur [Primera consulta: 15 de Març 2019]. Disponible a:
https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2726083/mod_resource/content/2/III.1.La%20UNFCCC-1.pdf
- (4) Xercavins, J. i Alcaraz, O. (2017). La UNFCC-2 (Tema 3.2) [en línia]. Assignatura de Canvi Climàtic: ciència, energia, economia, política i futur [Primera consulta: 15 d'Abril 2019]. Disponible a:
https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2726088/mod_resource/content/3/PK.pdf
- (5) Xercavins, J. i Alcaraz, O. (2016). *El IPCC, el AR5, y el presente y el futuro* (Tema 4.2) [en línia]. Assignatura de Canvi Climàtic: ciència, energia, economia, política i futur [Primera consulta: 17 de Maig 2019]. Disponible a:
https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2779496/mod_resource/content/0/IV.2.%20El%20AR5%20y%20PAR%C3%8DS.pdf
- (6) Xercavins, J. i Alcaraz, O. (2016). *El vector energètic y las emisiones asociadas a la quema de combustibles fósiles* (Pràctica 1) [en línia]. Assignatura de Canvi Climàtic: ciència, energia, economia, política i futur [Primera consulta: 4 de Març 2019]. Disponible a:
https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2762918/mod_resource/content/0/Pr%C3%A1ctica1.pdf
- (7) UNFCC, 2015. *Acuerdo de París* [en línia]. [Primera consulta: 17 de Maig 2019]. Disponible a:
https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf
- (8) Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia, 2009. *Segunda Comunicación Nacional del Estado Plurinacional de Bolivia ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático* [en línia]. ISBN: 4-1-381-09 P.O [Primera consulta: 7 d'Abril 2019]. Disponible a:
<https://unfccc.int/resource/docs/natc/bolnc2exsums.pdf>
- (9) Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia, 2009. *Segunda Comunicación Nacional del Estado Plurinacional de Bolivia ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático* [en línia]. ISBN: 4-1-381-09 P.O [Primera consulta: 7 d'Abril 2019]. Disponible a:
<https://unfccc.int/resource/docs/natc/bolnc2exsums.pdf>

(10) *Ministerio del Ambiente y Energía de Costa Rica, Instituto Meteorológico Nacional-Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas*, 2014. *Tercera comunicación nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático* [en línia]. ISBN: 978-9977-50-116-1 [Primera consulta: 7 d'Abril 2019]. Disponible a:

<https://unfccc.int/resource/docs/natc/cornc1.pdf>

(11) Xercavins, J. i Alcaraz, O. (2017). *Los escenarios RCP (Pràctica 3)* [en línia]. Assignatura de Canvi Climàtic: ciència, energia, economia, política i futur [Primera consulta: 12 de Maig 2019]. Disponible a:

https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2781874/mod_resource/content/0/Pr%C3%A1ctica3.pdf

(12) Xercavins, J. i Alcaraz, O. (2017). *El PK (Protocolo de Kyoto)* [en línia]. Assignatura de Canvi Climàtic: ciència, energia, economia, política i futur [Primera consulta: 17 de Maig 2019]. Disponible a: https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2726088/mod_resource/content/3/PK.pdf

(13) *Grupo sobre Gobernanza del Cambio Climático (GGCC), del Grupo de Investigación en Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo (STH) de la Universitat Politècnica de Catalunya*, 2018. *Todo sobre el Acuerdo de París y los 2°C* [en línia]. [Primer Consulta: 25 de Maig 2019]. Disponible a:

<https://2c.ggcc.upc.edu/>

Annexes

Annex 1: Full de càlcul Excel amb la metodologia utilitzada per calcular els històrics del vectors energètics i les seves emissions corresponents de casa país i els resultats derivats.

Annex 2: Full de càlcul Excel amb la metodologia utilitzada per calcular els escenaris BAU dels vectors energètics dels països i les seves corresponents emissions de diòxid de carboni.

Annex 3: Full de càlcul Excel amb la metodologia utilitzada per calcular els escenaris de futur alternatius dels vectors energètics dels països i les seves corresponents emissions de diòxid de carboni.

Annex 4: Full de càlcul Excel amb les dades històriques d'emissions de diòxid de carboni de l'IEA així com les projeccions de futur segons la trajectòria dels 2°C calculats pel GGCC-UPC.